



**TUGAS AKHIR - TM141585**

**STUDI EKSPERIMEN LAJU KEAUSAN PADA *BULL RING PLATE* (PROSES *NON TEMPERING* DAN *TEMPERING*)  
DENGAN BATUBARA PADA *PULLVERIZER*  
PT. YTL JAWA POWER**

**RAKA NURTIARA SEKARRINI  
02111645000018**

Dosen Pembimbing:  
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.,E

JURUSAN TEKNIK MESIN  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018



**FINAL PROJECT - TM141585**

**EXPERIMENTAL STUDY OF SPECIFIC WEAR RATE ON  
BULL RING PLATE (NON TEMPERING AND TEMPERING  
PROCESS) WITH COAL IN PULLVERIZER  
PT. YTL JAWA POWER**

**RAKA NURTIARA SEKARRINI  
02111645000018**

**Dosen Pembimbing:  
Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.,E**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Industrial Engineering Faculty  
Sepuluh Nopember Institut of Technology  
Surabaya  
2018**

**STUDI EKSPERIMEN LAJU KEAUSAN PADA *BULL RING PLATE* (PROSES *NON TEMPERING* DAN *TEMPERING*) DENGAN BATUBARA PADA PULVERIZER PT YTL. JAWA POWER**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RAKA NURTIARA SEKARRINI**

NRP. 021116 45 000018

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir.

1. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E  
NIP. 196511031990021001 (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA  
NIP. 196508101991021001 (Penguji I)
3. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT  
NIP. 196807061999031004 (Penguji II)
4. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT  
NIP. 198604012015041001 (Penguji III)

**SURABAYA**

**JULI, 2018**

**EXPERIMENTAL STUDY OF SPECIFIC WEAR RATE ON  
BULL RING PLATE (NON TEMPERING AND  
TEMPERING PROCESS)  
WITH COAL IN PULVERIZER PT.YTL JAWA POWER**

**Student Name** : Raka Nurtiara Sekarrini  
**NRP** : 0211645000018  
**Department** : Mechanical Engineering FTI-ITS  
**Counselor Lecturer** : Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc., E

**Abstract**

*There are bull ring components that is arranged circularly in the plate inside pulverizer. In the 3500 hours of pulverizer operational period or based on the pulverizer performance chart itself will be implemented preventive maintenance in order to do performance checking. Usually at the time of the maintenance is often done the bull ring turnover because the performance of the pulverizer itself is not up to standard and the bull ring has reached the maximum limit of wear. The maximum tolerance limit is due to the opposing force that occurs between bull ring and coal.*

*Testing the wear rate is very important to know the age of a component, by testing using a tool called tribometer type pin on disk, where the bull ring is cut into a shape like a disk and coal is shaped like a pin. Both were tested by continuous swiping until there was a reduction in the weight of the tested disk. The disc is treated by tempering and non-tempering to know the difference of wear rate and age of test specimen.*

*The value of specific wear rate shows a trend that tends to decrease with the increasing of weight on non-tempering bull ring. In the wear test of non-tempering bullring material has a less significant of wear, this is shown from the sharply decreasing wear rate that is  $1.5963 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  in 7<sup>th</sup> times to 14<sup>th</sup> times testing, and for the 14<sup>th</sup> to 21<sup>st</sup> times testing is equal to 1,*

*79589x10<sup>-8</sup> mm<sup>3</sup>/Nm. While at the value of specific wear rate tempering shows trend that tends to decrease with increasing of weight in tempering bull ring. In this wear test the tempering bull ring material has a less significant of wear that the wear rate decreases sharply by 1.99543x10<sup>-9</sup> mm<sup>3</sup>/Nm in 7<sup>th</sup> times to 14<sup>th</sup> time testing and the wear rate decreases at a relatively constant rate with a considerable decrease for 14<sup>th</sup> times to 21<sup>st</sup> times testing that is equal to 5,98630x10<sup>-9</sup> mm<sup>3</sup>/Nm. Based on the calculation of life time with speed (Speed Control) 100 rpm, the age of non-tempering bull ring is 1,1832 years, while the life of temepring bull ring material is 1,8060 years. the conclusion is, performing wear test on non-tempering testing conditions will give shorter age results than tempering testing.*

**Keywords: Wear Rate, Bull Ring, Coal, Pin on Disk, Tempering**

**STUDI EKSPERIMEN LAJU KEAUSAN PADA *BULL RING PLATE* (PROSES *NON TEMPERING* DAN *TEMPERING*) DENGAN BATUBARA PADA *PULLVERIZER* PT.YTL JAWA POWER**

**Nama Mahasiswa** : Raka Nurtiara Sekarrini  
**NRP** : 0211645000018  
**Jurusan** : Teknik Mesin FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc., E

**Abstrak**

*Plate yang berada didalam pulverizer terdapat komponen bull ring yang disusun secara melingkar. Dalam periode pengoperasian pullverizer 3500 jam atau berdasarkan grafik peforma pullverizer sendiri akan dilaksanakan preventive maintenace guna untuk melakukan pengecekan komponen. Biasanya pada saat perawatan sering dilakukan pergantian bull ring karena peforma dari pullverizer sendiri sudah tidak sesuai standard dan bull ring telah mencapai batas aus maksimal. Batas toleransi maksimal tersebut dikarenakan adanya gaya lawan (opposing force) yang terjadi antara bull ring dengan batubara.*

*Pengujian laju keausan ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui umur suatu komponen, dengan cara pengujian menggunakan alat bernama tribometer type pin on disk, dimana bull ring dipotong menjadi bentuk seperti disk dan batubara dibentuk seperti pin. Keduanya diuji dengan cara digesekkan terus menerus hingga terjadi pengurangan berat dari disk yang diuji. Disk dilakukan perlakuan dengan cara tempering dan non tempering untuk mengetahui perbedaan laju keausan dan umur dari spesimen uji. Dimana proses tempering ini dilakukan dengan memanaskan kembali pada temperatur kritis dan ditahan sampai 30 menit, kemudian di fast cool menggunakan oil. Setelah dilakukan pendinginan spesimen uji dipanaskan kembali sampai temperatur 300°C dan kemudian ditahan sampai 2 jam untuk selanjutnya didinginkan menggunakan suhu ruangan.*

Nilai laju keausan menunjukkan trend yang cenderung menurun apabila perubahan berat spesimen saat dan setelah pengujian semakin kecil. Pada uji keausan material bullring non tempering ini memiliki volume keausan yang tidak terlalu signifikan perbedaannya, hal ini ditunjukkan dari laju keausan yang menurun tajam sebesar  $1,5963 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada pengujian jam ke-7 ke jam ke-14 dan untuk pengujian jam ke-14 ke jam ke-21 yaitu sebesar  $1,79589 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Sedangkan pada nilai specific wear rate tempering menunjukkan trend yang cenderung menurun dengan semakin bertambahnya perubahan volume berat pada bullring tempering. Pada uji keausan material bullring tempering ini memiliki volume keausan yang tidak terlalu signifikan perbedaannya dimana laju keausan menurun tajam sebesar  $1,99543 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  pada pengujian jam ke-7 ke jam ke-14 dan laju keausan menurun dengan laju yang relative konstan dengan penurunan yang cukup besar untuk pengujian jam ke-14 ke jam ke-21 yaitu sebesar  $5,98630 \times 10^{-9} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Berdasarkan hasil perhitungan umur hidup (life time) dengan kecepatan (Speed Control) 100 Rpm, umur dari material Bullring Non Tempering adalah tahun, sedangkan umur dari material Bullring Tempering adalah 1,8060 tahun. Kesimpulannya yaitu melakukan pengujian keausan pada kondisi non tempering umur hidupnya lebih pendek daripada proses tempering.

**Kata Kunci : Laju Keausan, Bull Ring, Batubara, Pin On Disk, Tempering**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Proposal Tugas Akhir ini yang berjudul:

### **STUDI EKSPERIMEN LAJU KEAUSAN *BULL RING PLATE (PROSES NON TEMPERING DAN TEMPERING)* DENGAN BATUBARA PADA *PULLVERIZER PT. YTL JAWA POWER***

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis telah mendapat bantuan dari berbagai pihak baik secara moril dan materi, sehingga dalam pembuatan laporan ini, saya dengan hormat mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.,E selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan saran, masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D selaku Sekretaris Program Studi S1 Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Bapak Bambang Arip Dwiyantoro, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA selaku Dosen Wali saya yang telah banyak memberikan saran dan masukan selama di perkuliahan.
5. Orang tua, ibu Harini Purwatiningsih, ayah Agus Hadi Sunyoto dan adik Achmad Farisy Herga yang senantiasa memberikan do'a restu, kasih sayang dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Eko Wahyu Isdiantoro, S.ST sebagai orang yang selalu memberikan support dalam membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.



7. Ahmad Dwi Yan Syahbana, A.md sebagai partner tugas akhir sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
  8. Lisa Andriani, A.md , Esti Nur Afifah, A.md, Suci Ramadhani Putri, Amd, Fauziah Meutiarani, A.md, Muh. Septa H, S.T, Alfiana Nur H, A.md sebagai teman yang selalu memberikan dukungan secara moral dan senantiasa menemani dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
  9. Teman-teman seperjuangan angkatan Lintas Jalur 2016 atas dukungan serta kebersamaannya selama kuliah di S1 Teknik Mesin FTI-ITS.
  10. Semua pihak yang belum saya sebutkan yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
- Penulis menyadari bahwa Proposal Tugas Akhir ini masih begitu banyak kekurangannya, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata, penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Surabaya, 17 Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Metode Penelitian .....	3
1.7 Sistematika Penelitian .....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penjelasan Umum tentang <i>Pulverizer</i> .....	7
2.2 Penjelasan Umum tentang Batubara .....	8
2.3 Penelitian Terdahulu .....	9
2.3.1 <i>Effect Of Microstructure Factors On Abrasion Resistance             Of High-Strength Steels</i> .....	9
2.3.2 <i>Influence of Material Condition on the Dry Sliding Wear             Behavior of Spring Steels</i> .....	9
2.3.3 <i>Coal Characteristics That Lead To Abrasion During             Grinding</i> .....	12
2.4 Keausan ( <i>Wear</i> ) .....	13
2.4.1 Pengertian Keausan .....	13
2.4.2 Mekanisme Keausan .....	14
2.5 Alat Uji Keausan Material .....	19

### BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	23
3.2 Langkah Kerja Penelitian .....	30
3.3 Spesifikasi Peralatan Tribometer.....	34
3.4 Kalibrasi <i>Speed Control</i> .....	41
3.5 Rancangan Eksperimen .....	41

### BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian .....	43
4.1.1 Pengujian Laju Keausan <i>Bull ring Non Tempering</i> .....	43
4.1.2 Pengujian Laju Keausan <i>Bull ring Tempering</i> .....	44
4.2 Perhitungan.....	45
4.2.1 <i>Specific Wear Rate Non Tempering</i> .....	45
4.2.2 <i>Specific Wear Rate Tempering</i> .....	46
4.3 Analisa Hasil Pengujian Keausan.....	48
4.3.1 Analisa Hasil Pengujian Keausan <i>Non Tempering</i> .....	48
4.3.2 Analisa Hasil Pengujian Keausan <i>Bull ring Tempering</i> .....	50
4.4 Analisa Hasil Foto Mikro Laju Keausan .....	52
4.4.1 Analisa Hasil Foto Mikro Laju Keausan <i>Bull ring Non Tempering</i> .....	52
4.4.2 Analisa Hasil Foto Mikro Laju Keausan <i>Bull ring Tempering</i> .....	53
4.5 Analisa Perbandingan Hasil Foto Mikro Laju Keausan antara <i>Bull ring Non Tempering</i> dengan <i>Bull ring Tempering</i> .....	55
4.6 Perhitungan Umur Hidup (Life Time) Material Uji .....	57
4.7 Estimasi Perhitungan <i>Wear Rate</i> dan <i>Life Time Real</i> <i>Setiap Bull Ring</i> pada <i>Pulverizer</i> .....	60
4.7.1 Estimasi Perhitungan <i>Wear Rate</i> <i>Setiap Bull Ring</i> pada <i>Pulverizer</i> .....	60
4.7.2 Estimasi Perhitungan <i>Umur</i> <i>setiap Bull Ring</i> pada <i>Pulverizer</i> .....	61

### BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran .....	63

DAFTAR PUSTAKA .....	44
----------------------	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	HP <i>Pulverizer</i> ( <i>sciencedirect.com</i> ) .....	7
Gambar 2.2	Proses Pembentukan Batubara ( <i>Amber Indonesia and Coal</i> ).....	8
Gambar 2.3	Ketahanan Aus Abrasi Relatif Dan Kekerasan Baja.....	9
Gambar 2.4	(a) Siklus <i>Tempering</i> .....	10
Gambar 2.4	(b) Siklus <i>Cryogenic</i> .....	10
Gambar 2.5	<i>Wear</i> pada Berbagai <i>Track</i> Jarak.....	11
Gambar 2.6	<i>Wear vs Load</i> .....	11
Gambar 2.7	Mekanisme keausan adesif ( <i>H. Czichos, 1978</i> ).....	15
Gambar 2.8	Pengamatan <i>micrographs</i> keausan adesif ( <i>Czichos, 1978</i> ).....	15
Gambar 2.9	Mekanisme keausan abrasive ( <i>H. Czichos, 1978</i> ) .....	16
Gambar 2.10	Pengamatan <i>micrographs</i> keausan <i>abrasive</i> ( <i>Czichos, 1978</i> ) .....	17
Gambar 2.11	Mekanisme keausan lelah ( <i>H. Czichos, 1978</i> ).....	17
Gambar 2.12	Keausan lelah pada ball bearing ( <i>Czichos, 1978</i> ) .....	18
Gambar 2.13	Mekanisme keausan korosif ( <i>H. Czichos, 1978</i> ) .....	18
Gambar 2.14	Keausan korosif pada baja ( <i>Czichos, 1978</i> ).....	19
Gambar 2.15	Eksperimental alat uji keausan type Pin on Disk (K. V. Arun* and K.V. Swetha .....	19
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> penelitian .....	23
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> pengujian tanpa <i>Tempering</i> .....	27
Gambar 3.3	<i>Flowchart</i> Pengujian dengan proses <i>tempering</i> .....	28
Gambar 3.4	Desain pin .....	30
Gambar 3.5	Desain disk .....	31
Gambar 3.6	<i>Bull ring</i> sebagai <i>disk</i> .....	31
Gambar 3.7	Timbangan Digital .....	32
Gambar 3.8	Visualisasi 3D Tribometer Tipe <i>Pin on Disk</i> dengan <i>autocad 2007</i> .....	32
Gambar 3.9	Bagian-bagian dari alat tribometer tipe pin on disk.....	33
Gambar 3.10	Tribometer tipe <i>pin on disk</i> .....	36
Gambar 3.11	<i>Metal main holder</i> .....	37

Gambar 3.12 <i>Casing holder</i> .....	38
Gambar 3.13 <i>Casing holder</i> dan komponen penyusun bagian dalam casing.....	38
Gambar 3.14 Ulir <i>load adjuster</i> .....	39
Gambar 3.15 Ulir penutup casing.....	39
Gambar 3.16 Dummy .....	40
Gambar 3.17 Pegas.....	40
Gambar 3.18 Pencengkeram pin.....	41
Gambar 4.1 Pengujian <i>rockwell hardness c</i> pada <i>bull ring</i> (a). <i>Bull ring non tempering</i> , (b). <i>Bull ring tempering</i> .....	43
Gambar 4.2 Pengujian <i>tempering</i> pada <i>bull ring</i> .....	44
Gambar 4.3 Grafik <i>specific wear rate</i> pada <i>Bull ring non tempering</i> .....	49
Gambar 4.4 Grafik volume aus pada uji keausan <i>Bull ring non tempering</i> .....	49
Gambar 4.5 Grafik <i>specific wear rate</i> pada <i>Bull ring tempering</i> .....	50
Gambar 4.6 Grafik volume aus pada uji keausan <i>Bull ring tempering</i> .....	51
Gambar 4.7 Foto mikro pengujian <i>Bull ring non tempering</i> dengan perbesaran 50x (a). Sebelum pengujian, (b). Setelah pengujian.....	52
Gambar 4.8 Foto mikro pengujian <i>Bull ring tempering</i> dengan perbesaran 10x (a). Sebelum pengujian, (b). Setelah pengujian.....	54
Gambar 4.9 Foto mikro pengujian (a). <i>Bull ring non tempering</i> pra pengujian, (b). <i>Bull ring tempering</i> pra pengujian.....	55
Gambar 4.10 Foto mikro pengujian (a). <i>Bull ring non tempering</i> pasca pengujian, (b). <i>Bull ring tempering</i> pasca pengujian.....	56
Gambar 4.11 Grafik perbandingan <i>specific wear rate</i> pada <i>Bull ring non tempering</i> dengan <i>Bull ring tempering</i> .....	56
Gambar 5.1 Proses <i>tempering</i> yang sebaiknya dilakukan.....	64

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Abrassion Index</i> .....	12
Tabel 2.2	Kondisi Setiap <i>Type</i> Batubara. ....	13
Tabel 2.3	Kekerasan <i>Steel Spring</i> Dalam Kondisi Berbeda.....	21
Tabel 3.1	Rancangan Eksperimen. ....	41
Tabel 3.2	Tabel <i>Specific Wear Rate Disk</i> Spesimen Uji.....	42
Tabel 4.1	Pengujian <i>Bull Ring Non Tempering</i> .....	44
Tabel 4.2	Pengujian <i>Bull Ring Tempering</i> . ....	45
Tabel 4.3	Perhitungan <i>Specific Wear Rate Non Tempering</i> .....	46
Tabel 4.4	Perhitungan <i>Specific Wear Rate Tempering</i> .....	48

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada *pulverizer* terdapat mekanika kontak yang bergesekan antara *roller*, *plate* dan batu bara yang digunakan sebagai media yang dihaluskan. Didalam *plate* yang berada didalam *pulverizer* terdapat komponen *bull ring* yang disusun secara melingkar. Dalam periode pengoperasian *pulverizer* 3500 jam dan berdasarkan grafik peforma dari pulverizer sendiri akan dilaksanakan preventive maintenance guna untuk melakukan pengecekan komponen. Biasanya pada saat pengecekan sering dilakukan pergantian *bull ring* karena mengalami keausan yang melebihi toleransi maksimal sebesar 35 mm. Hal ini dikarenakan adanya gaya lawan (*opposing force*) yang terjadi antara *bull ring* dengan batu bara.

Kontak yang terjadi antar komponen bisa berupa *static contact*, *rolling contact*, atau *sliding contact*. Kontak mekanik (*contact mechanics*) merupakan hal yang penting, karena dapat mempelajari bagaimana struktur topografi permukaan (*asperity*) mengalami deformasi akibat gesekan

Pengujian *koefficient wear rate* sangat diperlukan untuk mengetahui umur suatu komponen, karena pada dasarnya didunia industri menginginkan usia material bertahan lama dan menghasilkan peforma yang maksimal. Pengujian kali ini dilakukan untuk menguji fenomena dari sebuah kontak material yang akan digunakan pada *Tribometer Pin on Disk*. Pengujian dilakukan dengan cara mencari harga laju keausan dari 2 buah material yaitu *bull ring* dengan batu bara yang saling digesekan secara berputar tanpa adanya pelumasan. Melalui penelitian ini kita dapat mengetahui kondisi yang menyebabkan material akan cepat mengalami keausan dan seperti apa mekanisme keausannya apabila material tersebut dilakukan *tempering* maupun yang tidak.



Pada penelitian ini digunakan material uji bull ring *High Chrome ASTM A532 CLASS III TYPE A* dengan Batubara Kideco. Hal ini dilakukan karena material ini digunakan pada proses penggilingan batu bara yang ada di unit Pembangkitan PT. YTL JAWA TIMUR , guna mngetahui faktor-faktor laju keausan pada proses yang ada didalam *Pulverizer*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbedaaan dari pengaruh *tempering* dan yang tidak terhadap keausan (*koefficient wear rate*) pada material *bull ring* dengan batu bara yang saling kontak secara *rotary* ?
2. Berapakah nilai kekasaran permukaan akibat dilakukannya *tempering*?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perbedaaan dari pengaruh *tempering* dan yang tidak terhadap keausan (*koefficient wear rate*) pada material *bull ring* dengan batu bara yang saling kontak secara *rotary* pada *Tribometer Pin On Disk*.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Pada saat pengujian kondisi temperatur pada suhu ruangan.
2. Tekanan pada 1 atm
3. Tidak ada material debris yang ikut menambah keausan.
4. Permukaan *bull ring* dianggap rata
5. Efek panas akibat gesekan diabaikan
6. Tidak ada pelumasan
7. Efek pemotongan material diabaikan

8. Material yang digesekkan adalah *Bull Ring* dengan batubara.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mahasiswa dapat lebih memahami ilmu *tribology*.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan dari pengaruh *tempering* dan yang tidak terhadap keausan (*koeficient wear rate*) pada material *bull ring* dengan batu bara yang saling kontak secara *rotary*
3. Dapat mengetahui nilai kekasaran permukaan akibat dilakukannya *tempering*.
4. Dapat memprediksi umur dari material *bull ring*.
5. Mengetahui cara mengatasi masalah yang diakibatkan oleh keausan

### 1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan dari penelitian di dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Untuk pengenalan dan pembelajaran dasar-dasar teori yang mengacu pada tema dari tugas akhir ini. Diperoleh dengan mencari referensi pada buku, makalah, jurnal, dan buku tugas akhir lainnya yang berhubungan dengan perpindahan panas dengan tujuan mendapatkan dasaran untuk memulai analisis dan perhitungan.

2. Penentuan Bahan

Dalam tahapan ini studi literatur juga dilakukan melalui internet, buku, dan lingkungan sekitar. Juga mengenali manfaat dan tujuan dalam penggunaan bahan tersebut, serta cara dan ketersediaannya. Melalui berbagai pertimbangan akhirnya diperoleh bahan daun mengkudu.

3. Studi Laboratorium

Melakukan pengujian di laboratorium Mekanika Benda Padat dengan perlengkapan mesin dan alat ukur

yang telah tersedia untuk mendapatkan dan mengolah data-data yang diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian.

#### 4. Analisis Data

Dari hasil pengujian atau studi laboratorium akan menghasilkan data-data aktual yang kemudian dianalisis dan dilakukan perhitungan untuk mengetahui variabel – variable yang digunakan dalam perhitungan

### 1.7 Sistematika Penulisan

Dalam tugas akhir ini agar alur pemikiran penulis dapat diikuti dan dipahami secara utuh maka disusunlah suatu kerangka penulisan yang bersifat umum, yaitu sebagai berikut :

#### BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang permasalahan penyusunan , perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

#### BAB II DASAR TEORI

Berisi teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian dan perhitungan yang digunakan sebagai dasaran dalam analisis serta koreksi data yang telah diperoleh guna mencapai tujuan penelitian.

#### BAB III METODOLOGI

Berisi tentang metode dan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam proses penelitian serta alat-alat yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian baik alat utama maupun alat-alat penunjang dan juga berisi tentang prosedur-prosedur pengujian.

#### BAB IV ANALISIS PERHITUNGAN

Berisi data-data hasil pengujian yang telah didapatkan dari proses penelitian dan proses

perhitungan sampai menemukan hal apa yang menjadi tujuan dalam penelitian.

## BAB V KESIMPULAN

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini akan didapatkan suatu kesimpulan yang menyatakan pernyataan akhir dari uraian dan penjelasan sebelumnya dan berkaitan pada tujuan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

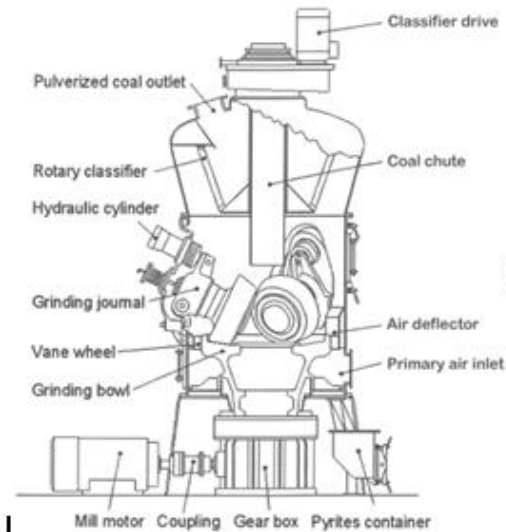
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Penjelasan Umum tentang *Pulverizer*

Beberapa sifat *Pulverizer* disebut juga *Mill* merupakan alat yang digunakan untuk menggiling atau menghaluskan batubara dengan ukuran kehalusan tertentu yang dibutuhkan dalam pembakaran sesuai dengan *furnace boiler*. Fungsi yang lain adalah mengeringkan batubara hingga mudah untuk dihaluskan dan dibakar, mengklasifikasi atau menyaring batubara untuk memastikan bahwa batubara yang masuk kedalam *boiler* benar-benar halus.



**Gambar 2.1 HP Pulverizer**  
Sumber : *sciencedirect.com*

Untuk *Pulverizer* unit 5 dan 6 PT. YTL Jawa Timur dilakukan *preventive maintenance* jika mencapai 3500 jam operasional. Setelah mencapai jam operasional maka *pulverizer* dilakukan *shut down*. Setelah itu dilakukan

pengecekan, jika terjadi kerusakan maka komponen *pullverizer* diperbaiki atau diganti.

## 2.2 Penjelasan Umum tentang Batubara

Batubara secara alami membentuk bahan bakar fosil dengan banyak karakteristik yang berbeda. Batubara terdiri dari materi organik dan anorganik. Rata-rata produksi pertambangan batu bara di Indonesia mencapai 300 juta ton per tahun.

Pembentukan batubara dimulai sejak periode pembentukan Karbon (*Carboniferous Period*) dikenal sebagai zaman batubara pertama yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu. Kualitas dari setiap endapan batubara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai maturitas organik. Proses awalnya, endapan tumbuhan berubah menjadi gambut (*peat*), yang selanjutnya berubah menjadi batubara muda (*lignit*) atau disebut pula batubara coklat (*brown coal*). Batubara muda adalah batubara dengan jenis maturitas organik rendah (Raharjo, 2006).

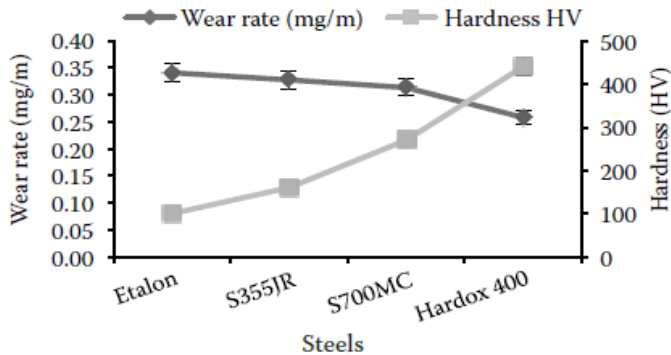


**Gambar 2.2** Proses Pembentukan Batubara  
(Amber Indonesia and Coal)

## 2.3 Penelitian Terdahulu

### 2.3.1 *Effect Of Microstructure Factors On Abrasion Resistance Of High-Strength Steels*

Zdravecká E., Tkáčová J., Ondáč M., 2014, melakukan pengujian ketahanan aus abrasif dari baja ASTM-G65, metode tersebut menggunakan hasil foto mikrostruktur dengan menggunakan resistensi ketahan aus abrasif baja tersebut, hasil pengujian dengan menggunakan tingkat kekerasan baja adalah sebagai berikut :



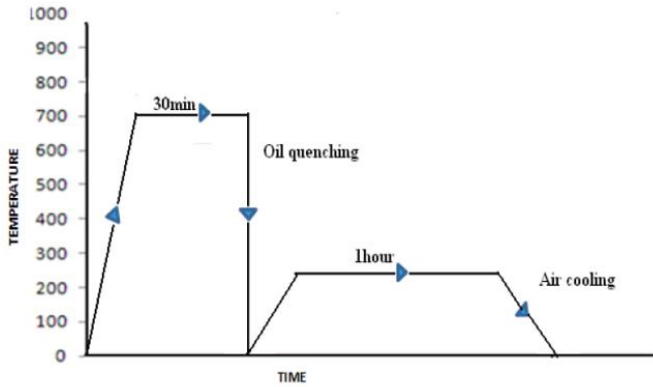
**Gambar 2.3**

Ketahanan Aus Abrasi Relatif Dan Kekerasan Baja

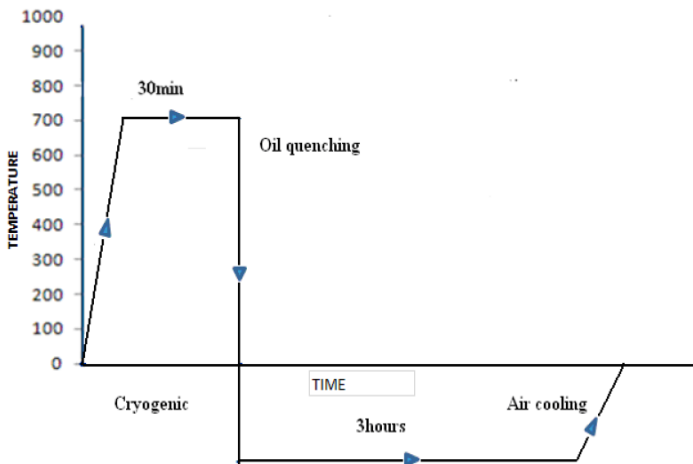
### 2.3.2 *Influence of Material Condition on the Dry Sliding Wear Behavior of Spring Steels*

K.V.Arun dan K.V.Sweta dalam penelitiannya *Influence of Material Condition on the Dry Sliding Wear Behavior of Spring Steels* mendiskusikan pengaruh kondisi material akibat perilaku panas terhadap keausan. *Spring steel* adalah logam yang mengalami proses *quenching* dan *tempering*. Variasi temperatur *quenching* dan *tempering* meliputi kondisi: Normal, *Tempering* pada 250C, 350C dan *Crygenic*.





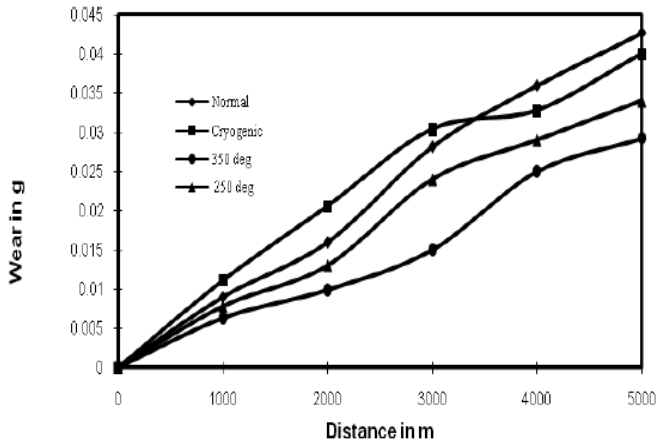
(a)



(b)

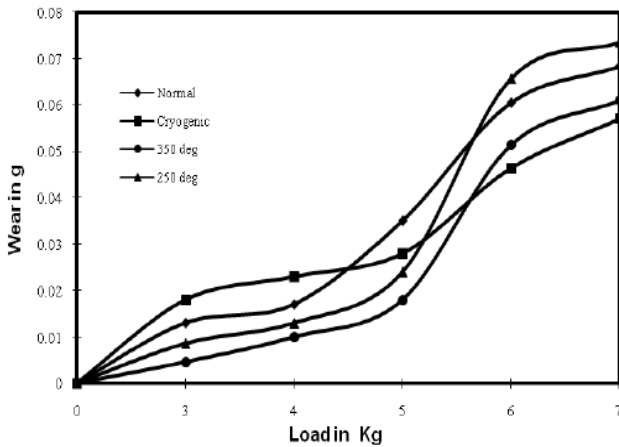
**Gambar 2.4** (a) Siklus *Tempering* (b) Siklus *Cryogenic*

Pengujian keausan dilakukan pada tribometer pin on disk dengan. Hasil pengujian dijelaskan dalam grafik berikut:



**Gambar 2.5** Wear pada Berbagai Track Jarak

Tempering pada temperatur 350C lebih baik dari tempering 250C. Akan tetapi apabila beban normal lebih tinggi maka tempering 250C akan lebih tahan haus dari tering 350C.



**Gambar 2.6** Wear vs Load

### 2.3.3 Coal Characteristics That Lead To Abrasion During Grinding

Tlotleng, Monnamme Titus dalam tesisnya berjudul *Coal Characteristics That Lead To Abrasion During Grinding* membahas karakter batubara dan laju abrasi pada batubara. Dalam penelitiannya, Monamme menjelaskan bahwa batubara memiliki bervariasi kandungan mineral. Variasi ini mencerminkan tingkan keabrasivan material ini. Pada penelitian ini dibahas *Coal Abrasion Index* dan *YGP Index*. *Abrasion Index* ini yang menggambarkan *wear rate* batubara.

**Tabel 2.1 Abrasion Index**

Coal name	Free moisture (%)	Inherent moisture (%)	Total moisture (%)	Abrasion index (mg/kg)
Coal A	2.2	4.3	6.4	87.35
Coal B	5.9	4.9	10.2	115.58
Coal C	1.9	2.5	4.3	28.63
Coal D	1.5	2.5	3.9	85.7
Coal E	1.8	3	4.7	51.15

Komposisi mineral yang terkandung disetiap tipe batubara dijelaskan pada table 2 berikut :

**Tabel 2.2** Kondisi Setiap *Type* Batubara

	AI	Maceral, Vol %				Rank (RoVmr)	CAC
Coal name	(mg/kg)	Vitrinite	Liptinite	Inertinite	MM	Vol%	Vol %
Coal A	87.35	15.2	4.8	63.2	16.8	0.63	32.4
Coal B	115.58	31.0	4.4	43.8	20.8	0.62	31.2
Coal C	28.63	7.0	5.0	74.4	13.6	0.73	32.2
Coal D	85.70	9.4	2.8	57.0	30.8	0.70	20.0
Coal E	51.15	14.2	1.6	64.2	20.0	0.72	19.7

MM=mineral matter, CAC=coal abnormal conditions and RoVmr= Reflectance of vitrinite maceral.

Dari diskusi, disimpulkan bahwa kemampuan abrasi batubara sangat bervariasi dan tergantung dari mineral dan moisture yang dikandung

## 2.4 Keausan (*Wear*)

### 2.4.1 Pengertian Keausan

Keausan adalah hilangnya sejumlah lapisan permukaan material karena adanya gesekan antara permukaan padatan dengan benda lain. Definisi gesekan itu sendiri adalah gaya tahan yang menahan gerakan antara 2 permukaan *solid* yang bersentuhan maupun *solid* dengan *liquid*. Ketika terjadi kontak antara 2 permukaan material, Bagian kasar dari suatu material akan terlibat kontak. Saat Beban ditambahkan, Bagian kasar pada logam akan terdeformasi secara plastis dan menghasilkan *sub-shear*

*zone*. Sifat yang dimiliki oleh material terkadang membatasi kinerjanya. Namun demikian, jarang sekali kinerja suatu material hanya ditentukan oleh satu sifat, tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan aus (*wear resistance*) merupakan fungsi dari beberapa sifat material (kekerasan, kekuatan, dan lain-lain).

Keausan juga dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Akibat negatif yang ditimbulkan adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari mesin berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting tentang keausan.

Pada umumnya, keausan dievaluasi dengan jumlah kehilangan dan keadaan permukaan yang aus. Derajat keausan dinyatakan dengan *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient*. *Wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak. *Specific wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak dan persatuan beban. *Wear coefficient* adalah hasil dari *specific wear rate* dengan kekerasan (*hardness*) dari material yang aus.

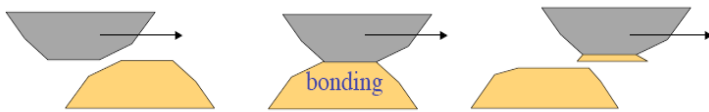
#### **2.4.2 Mekanisme Keausan**

Berikut ini merupakan penjelasan mengenai berbagai macam tipe keausan yang dihasilkan oleh berbagai macam variasi :

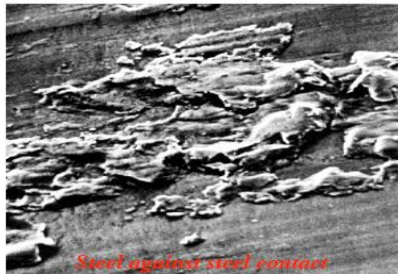
### 1. Keausan adesif (*adhesive wear*)

Terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya pelekatan satu sama lainnya (adhesive) serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan /pengoyakan salah satu material, seperti pada gambar 2.7 dan 2.8 dibawah ini :

#### Adhesive wear by strong interfacial bonding



**Gambar 2.7** Mekanisme keausan adesif (*H. Czichos, 1978*)



*H. Czichos, Tribology, Springer 1978*

**Gambar 2.8** Pengamatan *micrographs* keausan adesif (*Czichos, 1978*)

Faktor yang menyebabkan adhesive wear :

1. Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat atau senyawa intermetalik.
2. Kebersihan permukaan.
3. Jumlah wear debris akibat terjadinya aus melalui mekanisme adhesif

Mekanisme adhesif ini dapat dikurangi dengan cara ,antara lain:

- ✓ Menggunakan material keras.
- ✓ Material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur kristalnya

## 2. Keausan Abrasif (*Abrasive Wear*)

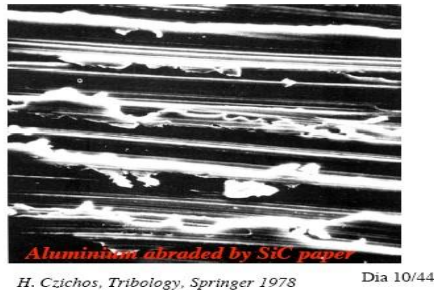
Keausan jenis ini terjadi bila suatu partikel keras ( asperity ) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (degree of freedom) partikel keras atau asperity tersebut.

Sebagai contoh partikel pasir silica akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada suatu permukaan seperti pada kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada di dalam sistem slury. Pada kasus pertama, partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan akhirnya mengakibatkan pengoyakan. Sementara pada kasus terakhir, partikel tersebut mungkin hanya berputar ( rolling ) tanpa efek abrasi. seperti diperlihatkan pada Gambar 2.9 merupakan mekanisme terjadinya *abrasive wear* dan Gambar 2.10 merupakan foto mikro dari *abrasive wear*

**Abrasive wear** by plastic deformation and microcutting



**Gambar 2.9** Mekanisme keausan abrasif (*H. Czichos, 1978*)

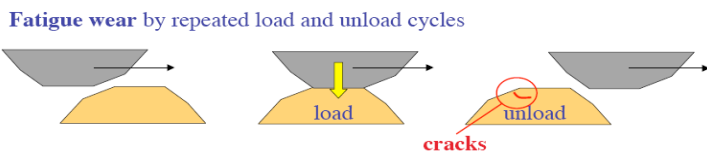


**Gambar 2.10** Pengamatan *micrographs* keausan *abrasive* (Czichos, 1978)

### 3. Keausan Lelah (*fatigue wear*)

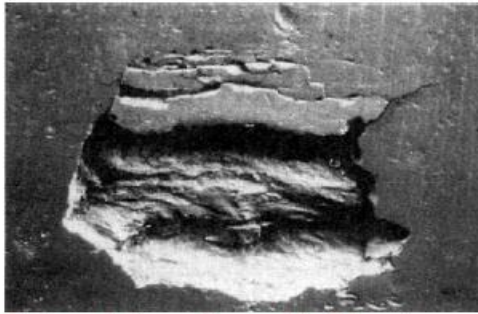
Keausan lelah merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adesif maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan lelah dibutuhkan multi interaksi.

Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Jadi, volume material yang hilang oleh keausan lelah bukanlah parameter yang terlalu penting, tetapi yang lebih penting adalah umur material setelah mengalami revolusi putaran atau waktu sebelum keausan lelah muncul seperti yang tergambar pada gambar 2.11 dan gambar 2.12



**Gambar 2.11** Mekanisme keausan lelah (H. Czichos, 1978)



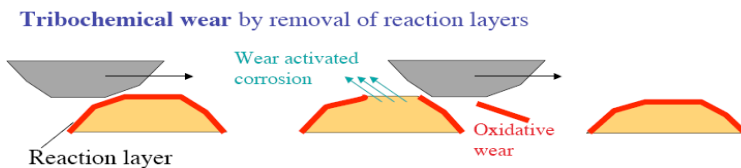


*Fatigue failure of a steel ball bearing*

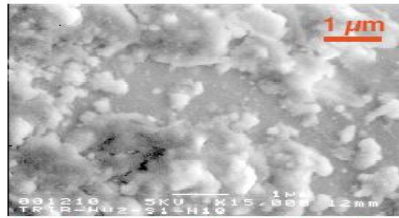
**Gambar 2.12** Keausan lelah pada ball bearing (Czichos, 1978)

#### 4. Keausan Korosif (*corrosive wear*)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh factor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut. Gambar 2.13 menunjukkan keausan korosif pada baja dan Gambar 2.14 menunjukkan mekanisme keausan korosif.



**Gambar 2.13** Mekanisme keausan korosif (H. Czichos, 1978)



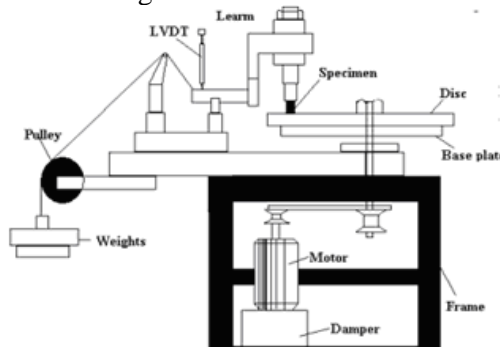
*Agglomerated oxide particles after wear of a passive steel.*

**Gambar 2.14** Keausan korosif pada baja (Czichos, 1978)

## 2.5 Alat Uji Keausan Material

Alat uji keausan yang digunakan untuk pegujian keausan variasi *hardness* yang dilakukan oleh K. V. Arun\* and K.V. Swetha seperti pada Gambar 2.15 tribometer dengan tipe kontak *pin-on-disk*.

Pengujian Baja pegas dicirikan untuk penilaian kekuatannya. Percobaan dilakukan untuk menentukan parameter yang paling signifikan yang mempengaruhi perilaku keausan. Hasil eksperimen telah diringkas dan didiskusikan dalam bagian.



**Gambar 2.15** Eksperimental alat uji keausan type Pin on Disk (K. V. Arun\* and K.V. Swetha)

Parameter tribologi yang diperoleh dari hasil eksperimen diatas berupa *specific wear rate*  $K$ , dari persamaan Archard dirumuskan :

$$K = \frac{\Delta m}{L.F.\rho} \quad (2.2)$$

Perubahan massa  $\Delta m$  dibagi dengan massa jenis  $\rho$  adalah perubahan volume  $\Delta V$ , sehingga persamaan (2.2) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$K = \frac{\Delta V}{L.F} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$K$	= Specific Wear Rate (mm <sup>3</sup> /Nm)
$\Delta m$	= perubahan massa (kg)
$\Delta V$	= perubahan volume (mm <sup>3</sup> )
$F$	= gaya (N)
$\rho$	= massa jenis benda (kg/mm <sup>3</sup> )

Pengujian dilakukan dengan variasi *hardness* dimana percobaan kekerasan diambil di berbagai daerah spesimen dan nilai rata-rata yang ditabulasikan. Tes kekerasan *Rockwell C* digunakan untuk menentukan kekerasan. Kekerasan material pada kondisi yang berbeda ditabulasikan pada Tabel 2.1. Kekerasan maksimum diperoleh di material kriogenik (61,5 RHN.). Kekerasan minimum yang diperoleh pada yang tidak diobati normal spesimen (26 RHN.). Karena perubahan struktur material, kekerasannya meningkat. Karena perawatan kriogenik telah dilakukan setelah quenching, quench crack mendapatkan melebar lebih jauh. Ini mengarah pada peningkatan kekerasan sehingga dapat ditabulasikan sebagai berikut :

**Tabel 2.3** Kekerasan *Steel Spring* dalam Kondisi Berbeda

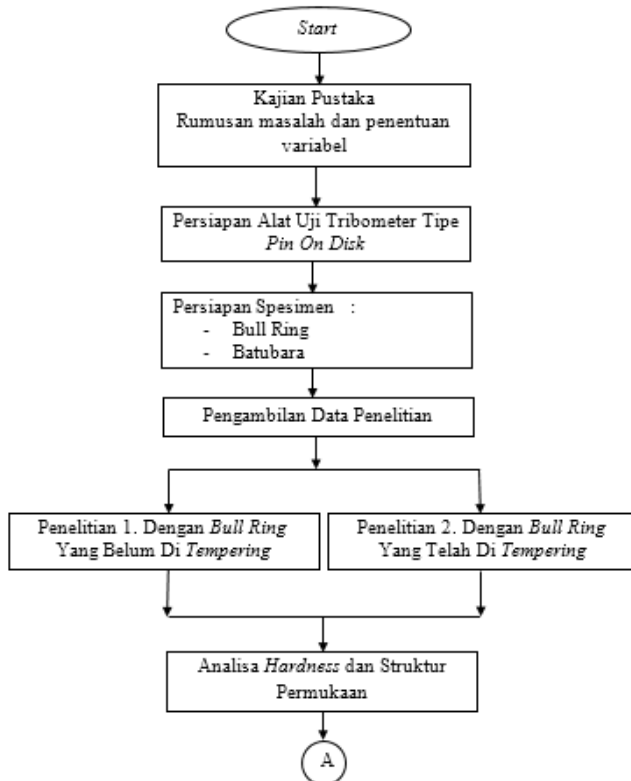
SPECIMEN	RHN-B	RHN-C	BHN	VHN
Normal	98.6	26	258	272
250 <sup>0</sup> C Tempered	129	45	421	446
350 <sup>0</sup> C Tempered	124	51	487	528
Cryogenic	110.5	61.5	688	746

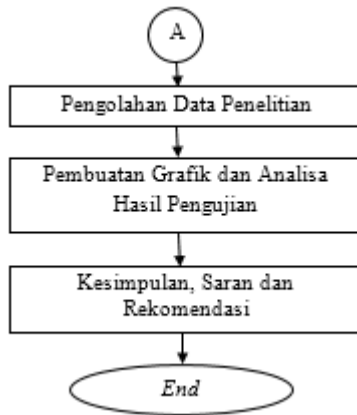
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat diagram alir penelitian bisa dilihat pada Gambar 3.1. Penelitian dilakukan secara eksperimental atau analitis, yaitu pengambilan data secara langsung dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *specific wear rate* dan struktur permukaan dari permukaan spesimen uji





**Gambar 3.1** *Flowchart* penelitian

Pada penelitian ini memiliki beberapa tahapan dalam melakukan penelitian. Setiap tahapan tersebut, bisa dijelaskan seperti dibawah ini.

1. Perumusan Masalah dan Studi Pustaka

Langkah awal didalam melakukan penelitian ini adalah merumuskan permasalahan –permasalahan yang ada dan kemudian mencari ide serta solusi atas permasalahan tersebut. Setelah itu memulai mengkaji studi literatur dan studi pustaka terkait teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dari kajian pustaka dicatat bahwa problema keausan material *bull ring* perlu diuji dan dilakukan analisa wear rate. Sehingga koefisien laju keausan material *bull ring* dapat digunakan untuk memprediksi umur komponen tersebut.

2. Persiapan Alat Uji Tribometer Tipe Pin on Disk

Tahap ini merupakan langkah awal dalam melakukan pengambilan data. Alat uji tribometer merupakan alat untuk mengetahui laju keausan dari suatu material yang melakukan

kontak. Persiapan yang dilakukan meliputi pen-settingan *control speed* . Data yang diinginkan dari penelitian ini adalah data yang benar-benar akurat, sehingga akan dilakukan kalibrasi ulang dari setiap komponen yang ada pada alat Tribometer tipe *Pin on Disk*.

### 3. Persiapan Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini ada dua, yaitu batubara sebagai *pin* dan *bull ring* sebagai *disk* dan masing-masing spesimen akan dicari spesifikasinya.

Batu bara diuji density dan hardness (atau dari referensi), demikian juga material baja *bull ring*. Spesimen disk selanjutnya diukur berat (*volume*) awal. Data ini selanjutnya digunakan sebagai referensi kondisi awal. Untuk proses pengujian ulang, berat akhir percobaan sebelumnya digunakan sebagai berat awal percobaan berikutnya. Pada pengujian dengan proses *tempering*, disk setelah mengalami heat treatment juga ditimbang. Demikian pula untuk procedure pengujian ulang, berat akhir pengujian sebelumnya digunakan berat awal pengujian berikutnya.

### 4. Pengambilan Data Penelitian

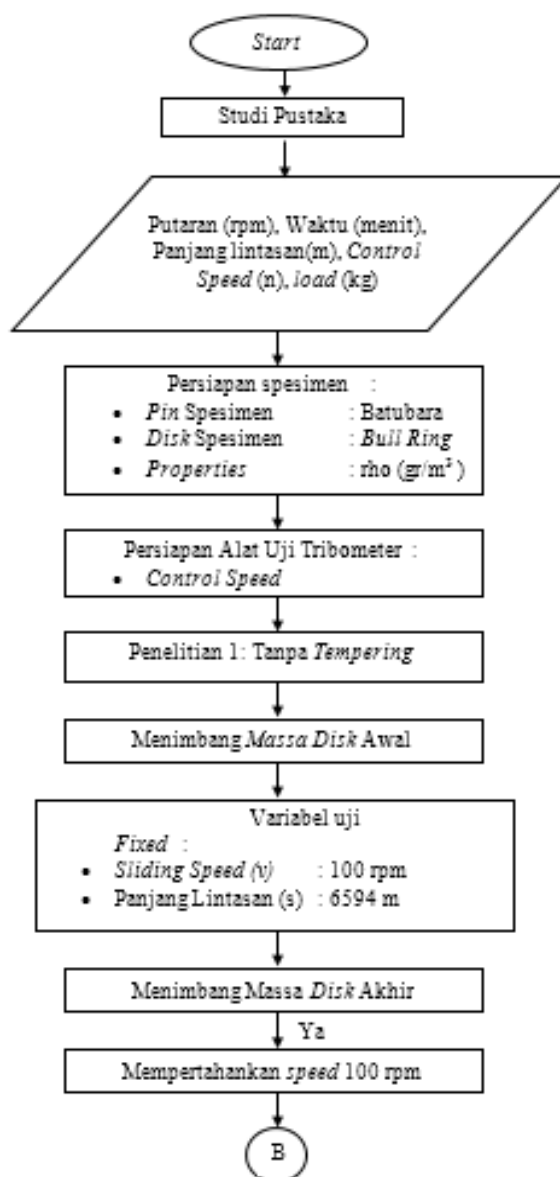
Tahap ini merupakan tahapan yang penting karena pada tahap inilah akan dilakukan penelitian yang nantinya akan digunakan sebagai bahan pembahasan serta analisa. Pengambilan data akan dilakukan sesuai dengan *flowchart* penelitian pada Gambar 3.2. dan Gambar 3.3 Penelitian akan dilakukan selama dua kali secara garis besar, yaitu penelitian dengan proses *tempering* dan tanpa *tempering*. Sebelum diuji laju keausan spesimen uji dilakukan tes *Hardness* guna mengetahui nilai kekerasan dari spesimen uji selanjutnya spesimen dapat dilakuka pengujian.

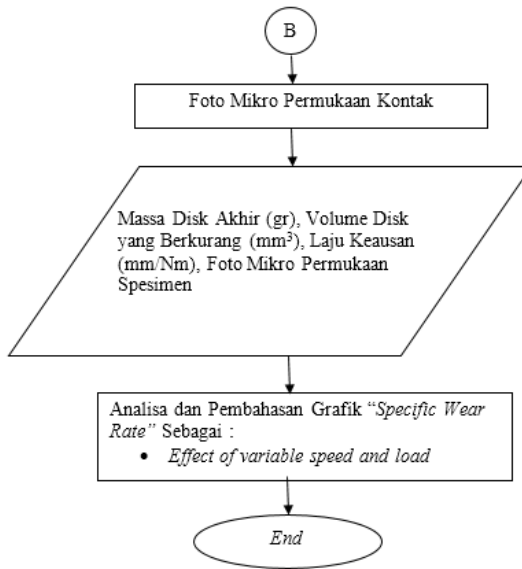
Data yang dicatat dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

- Berat Awal masing-masing pengujian



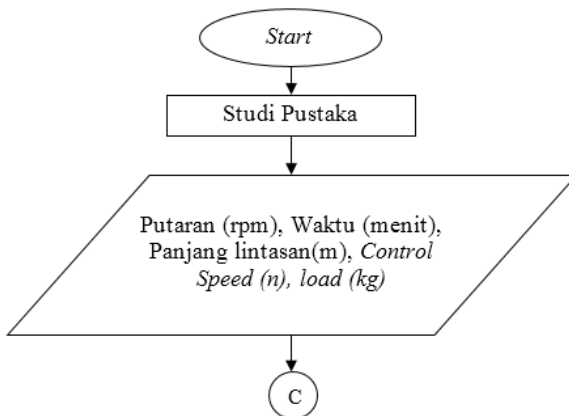
- Berat Akhir masing-masing pengujian
  - *Hardness test*
  - *Sliding Distance*
  - *Normal Load*
5. Analisa struktur permukaan  
 Spesimen yang telah dilakukan pengujian *wear rate* (laju keausan) selanjutnya akan dilakukan analisa struktur permukaan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimanapun struktur permukaan dari material yang melakukan kontak sehingga bisa dianalisa untuk diketahui penyebab serta solusi dari keausan material tersebut.
  6. Pengolahan Data Penelitian  
 Data yang didapat dari penelitian selanjutnya akan diolah dengan beberapa rumus perhitungan dan juga dari studi literatur yang telah dilakukan.
  7. Pembuatan Grafik dan Analisa Hasil Penelitian  
 Dari data penelitian yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukan pembuatan grafik dan dilakukan analisa dan pembahasan dari grafik serta struktur permukaan yang ada pada spesimen. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori-teori yang ada.
  8. Kesimpulan, Saran, dan Rekomendasi  
 Menyimpulkan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan kemudian memberikan saran dan rekomendasi agar penelitian dapat digunakan dalam dunia perindustrian, sehingga dapat bermanfaat untuk manfaat kedepannya.  
 Selain diagram alir penelitian, untuk memperjelas dan meringkas alur penelitian juga disajikan flowchart penelitian, hal tersebut dibuat untuk memperjelas dari proses yang akan dilakukan dalam perhitungan. *Flowchart* penelitian bisa dilihat pada Gambar 3.2. dan 3.3



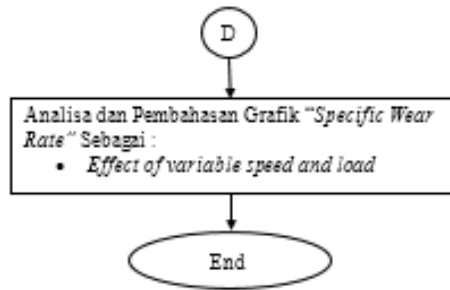


**Gambar 3.2** Flowchart pengujian tanpa *Tempering*

Berikut merupakan *flowchart* pengujian dengan dilakukan proses *tempering*:





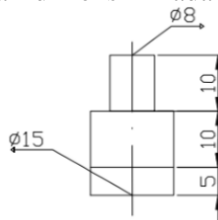


**Gambar 3.3** Flowchart Pengujian dengan proses *tempering*

### 3.2 Langkah Kerja Penelitian

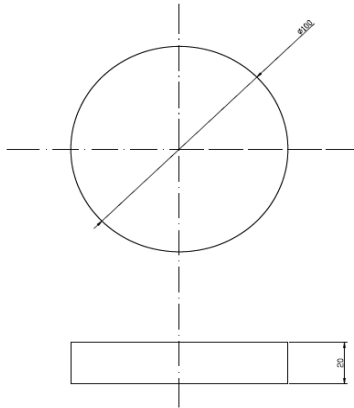
Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah kerja sebagai studi eksperimental, yaitu:

1. Melakukan studi pustaka sebagai dasar-dasar teori yang akan digunakan didalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini.
2. Mempersiapkan spesimen sebagai bahan uji dari penelitian. Spesimen terdiri dari dua jenis material, yaitu batubara sebagai *pin* dan *bull ring* sebagai *disk*. Untuk lebih memperjelas persiapan spesimen akan dijelaskan sebagai berikut:
  - a. *Pin* spesimen, dengan bentuk silinder pejal dengan diameter bertingkat. Dimensi pin dilihat pada Gambar 3.4. Satuan dari dimensi ini adalah mm.



**Gambar 3.4** Desain pin

- b. *Bull ring dimachining* dengan dimensi disk bisa dilihat pada gambar 3.5. Satuan dari dimensi ini adalah mm.



**Gambar 3.5** Desain disk

Gambar disk yang sudah jadi dan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. dibawah ini.



**Gambar 3.6** *Bull ring* sebagai dis

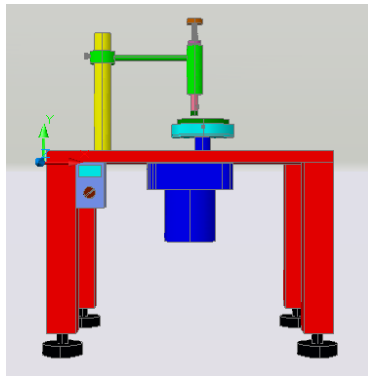
- c. Pengukuran properties spesimen batubara, dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Berikut adalah

timbangan digital yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 3.7.



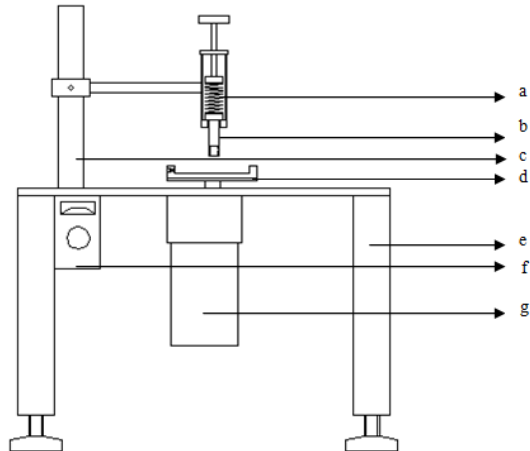
**Gambar 3.7** Timbangan Digital

- d. Penentuan jarak radius spesimen antara pin dengan disk.  
Jarak antara pusat pin dengan pusat disk sebesar 0,05 meter.
3. Mempersiapkan alat uji tribometer tipe pin on disk. Dimana pada tahap ini dilakukan kalibrasi dari *speed control*, *load* dan pen-*settingan* semua komponen dari tribometer. Tribometer yang digunakan bisa dilihat pada gambar visualisasi 3D pada Gambar 3.8 dibawah ini.



**Gambar 3.8** Visualisasi 3D Tribometer Tipe Pin on Disk dengan autocad 2007

4. Melakukan pengecekan dan penyettingan tiap-tiap komponen yang ada. Bagian-bagian dari Tribometer yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Bagian-bagian dari alat tribometer tipe pin on disk

Keterangan dari gambar 3.9 :

- a. Load control with adjustabel spring*
  - b. Pin spesimen holder with lock*
  - c. Metal main holder with flexible mounting dan flexible radius (adjustabel)*
  - d. Round metal disk table with rigid design*
  - e. Tribometer tabel with rigid design and low damping / vibration effect*
  - f. Speed control with selectabel level*
  - g. AC motor with reducer gear box*
5. Pengukuran *variable load* (F) pada 1 titik *load control devices* yang *adjustable* dengan timbangan, sehingga akan didapat data awal :  $F_1$



6. Pengukuran putaran dengan menggunakan tachometer akan didapatkan rpm dari 1 level *speed control*, panjang *wear track* dibuat konstan 600 m, sehingga akan didapatkan waktu pengujian masing masing level *speed control* dengan menggunakan rumus :

$$t = \frac{s}{\pi \cdot d \cdot Rpm} \quad (3.1)$$

Keterangan :

- t = waktu pengujian (menit)  
 s = panjang track pin (meter)  
 d = diameter track pin (meter)

7. Pengujian 1 yaitu tanpa *tempering* dengan pembebanan 10 kg dan *speed control* 100
8. Melakukan pengujian yang ke-2 yaitu dengan *tempering* dengan pembebanan 10 kg dan *speed control* 100.
9. Melakukan foto mikro permukaan dari material yang telah untuk mengetahui mekanisme laju keausan dari material yang mengalami kontak dengan menggunakan Mikroskop Optik dengan perbesaran 10 kali dan 50 kali.
10. Mengolah data hasil pengujian dan membuat grafik dan kemudian menganalisa grafik tersebut. Kemudian menganalisa mekanisme laju keausan (*wear rate*) dari hasil pengujian struktur permukaan. Grafik yang akan dibuat yaitu, Grafik “*Specific wear rate*” sebagai:

- Effect of variable speed and load dari material yang *ditempering* dan yang tidak

### 3.3 Spesifikasi Peralatan Tribometer

Spesifikasi pin on disk yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah :

<i>Sliding speed range</i>	8.37 – 250 mm/s
<i>Disc rotation speed</i>	8 - 100 rpm
<i>Maximum normal load</i>	150 N
<i>Frictional force</i>	0 – 150 N
<i>Wear measurement range</i>	10 mm
<i>Pin size</i>	8 – 15 mm diameter / diagonal
<i>Disk size</i>	100 mm diameter x 20 mm tebal
<i>Wear track diameter</i>	20 – 80 mm
<i>Pin</i>	Batubara
<i>Disk</i>	<i>Bull Ring</i>

Sedangkan spesifikasi alat ukur yang digunakan adalah :

- Untuk mengukur kecepatan putaran di tingkatan level yang dijaga konstan oleh *speed control* digunakan *Tachometer*.
- Untuk mengukur besar *load* untuk pengaturan pegas digunakan timbangan berat badan.
- Untuk menimbang massa pin polimer digunakan timbangan digital dengan keakuratan 0.1 mg
- Untuk mengukur besar temperatur gesekan permukaan gesekan pin dengan disk digunakan infrared thermometer (non-kontak)
- Untuk mengukur massa jenis dari polimer digunakan pycnometer.

Spesifikasi AC motor, *speed control* dan pegas sebagaimana data berikut :

1. Spesifikasi AC motor dan gear box

AC Motor :	Merk	: Peei Moger
	Type	: M-51K90U-CFV
	Daya	: 1Ø 4P 50W CONT. 6,0Mf
		220V 50Hz 90-1400 rpm
		220V 60Hz 90-1700 rpm
Gear Box :	Merk	: Peei Moger
	Type	: G-5U25-K
	Ratio	: 1/25

Max.T : 77 kgfcm

2. Spesifikasi *Speed control*

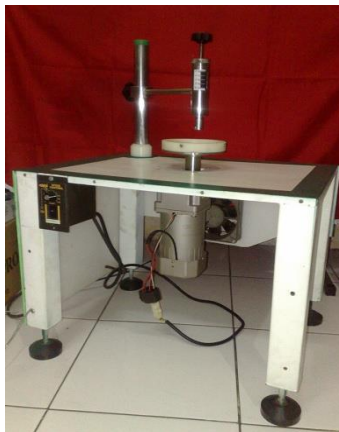
Merk : Peei Moger  
Type : US-5140A-C  
Range : *speed control 0 – 100 selectable*

3. Spesifikasi pegas

Dimensi : panjang 6 cm, diameter pegas  
18 mm dan diameter  
kawat 4 mm

Load : 0 – 110 Newton

Pengujian operasi AC motor yang meliputi run test dan temperatur monitoring, pengujian *speed control* switching dengan menggunakan tachometer, pengujian karakteristik kekakuan pegas dengan menggunakan timbangan. Sehingga tribometer benar- benar siap digunakan untuk keperluan eksperimen. Gambar assembly tribometer dapat diamati pada Gambar 3.10



**Gambar 3.10** Tribometer tipe *pin on disk*

Berikut ini adalah gambar holder dengan bagian – bagiannya :

- *Metal main holder* (tiang holder) dan *casing holder* (selongsong)

Metal main holder digunakan sebagai sandaran *casing holder*, *casing holder* dapat bergerak rotasi horizontal (*mounting*) dan juga dapat bergerak vertikal sepanjang sumbu metal main holder, sehingga dapat dengan mudah meletakkan pin uji dan mengatur seting *load* pada casing.

Casing holder dilengkapi dengan skala massa *load* 2 kg. Bagian dalam casing holder berupa komponen penyusun *load control* yang terdiri dari komponen ulir *load adjuster*, ulir penutup casing, dummy, pegas, dan komponen pencengkeram benda uji pin. Berikut ini adalah gambar *metal main holder* dan *casing holder*. Main holder dapat dilihat pada Gambar 3.11, Casing holder pada Gambar 3.12, dan pada Gambar 3.13 gambar Casing holder dengan komponennya.



**Gambar 3.11** *Metal main holder*



**Gambar 3.12** *Casing holder*



**Gambar 3.13** *Casing holder* dan komponen penyusun bagian dalam casing

- *Ulir load adjuster*

Ulir ini memiliki berfungsi untuk sebagai pengatur beban yang diberikan pada pin. Ulir load adjuster dapat dilihat pada Gambar 3.14.



**Gambar 3.14** Ulir *load* adjuster

- Ulir penutup casing

Penutup casing ini berfungsi sebagai landasan dari ulir *load adjuster*. Penutup casing ini dilengkapi dengan ulir yang digunakan untuk menyatukan dengan *casing holder*. Ulir penutup casing dapat dilihat pada Gambar 3.15.



**Gambar 3.15** Ulir penutup casing

- Dummy

Dummy akan didorong oleh *load adjuster* sehingga memberikan tekanan pada pegas. Dummy dapat dilihat pada Gambar 3.16.



**Gambar 3.16** Dummy

- Pegas

Pegas memiliki konstanta kekakuan pegas  $k$  tertentu dapat digunakan untuk memberikan gaya tekan pada pin uji saat pegas mengalami defleksi  $\Delta x$  Sesuai dengan gaya pegas. Pegas yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.17.

$$F = k \cdot \Delta x \quad (3.10)$$



**Gambar 3.17** Pegas

- Pencengkeram pin

Pencengkeram pin berfungsi untuk mencengkeram pin yang diikat dengan baut pengikat sehingga pin tidak berotasi atau mengalami slip saat pengujian. Pencengkeram pin dapat dilihat pada Gambar 3.18.



**Gambar 3.18** Pencengkeram pin

### 3.4 Kalibrasi *Speed control*

*Speed control* dikalibrasi dengan menggunakan tachometer untuk mencari putaran per menit (rpm) disk dari level *speed control* dalam pengujian keausan.

### 3.5 Rancangan Eksperimen

Eksperimen yang dilakukan dalam tugas akhir ini akan dilakukan dengan dua kondisi yaitu pengujian keausan tanpa *tempering* dan dengan *tempering*

**Tabel 3.1** Rancangan Eksperimen

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Normal Load</i> (N) : 100 N</li> <li>• <i>Sliding Distance</i> : 6594 m</li> <li>• <i>Bull Ring Hardness</i> : HRC ( MPa)</li> <li>• <i>Coal Hardness</i> : HRC ( MPa)</li> </ul>					
Pengujian Ke	Tanpa Tempering ( HRC )		Tempering ( HRC )		Keterangan
	Berat Awal $W_{awal}$	Berat Akhir $W_{akhir}$	Berat Awal $W_{awal}$	Berat Akhir $W_{akhir}$	
1					
2					
3					



Keterangan :

- $W_{\text{awal}}$  = massa *disk* awal sebelum pengujian
- $W_{\text{akhir}}$  = massa *disk* akhir setelah pengujian
- $\Delta W$  =  $W_{\text{awal}} - W_{\text{akhir}}$  (perubahan berat *disk* atau volume aus)

Perubahan massa pin  $\Delta m$  didapatkan dengan menimbang pin sebelum dilakukan pengujian dan kemudian ditimbang lagi menggunakan timbangan digital setelah dilakukan pengujian. Setelah  $\Delta m$  diketahui, berikutnya mulai menghitung perubahan volume  $\Delta V$  pin yang terjadi dengan menggunakan rumus seperti persamaan 3.3 dibawah ini:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (3.3)$$

Maka *specific wear rate*  $K$  dapat dicari dengan rumus :

$$K = \frac{\Delta V}{F.L} \quad (3.4)$$

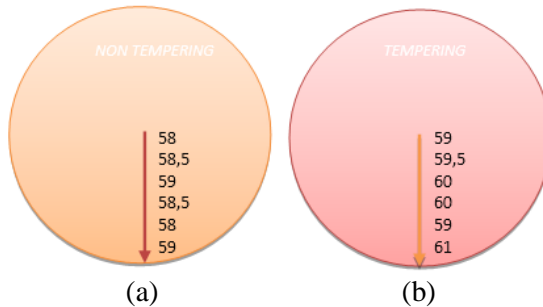
**Tabel 3.2** Tabel *specific wear rate disk* spesimen uji

Perubahan volume disk	<i>Specific wear rate</i>
$\Delta V_1$	$K_1$
$\Delta V_2$	$K_2$
$\Delta V_3$	$K_3$

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil pengujian

Pengujian *Rockwell Hardness C* pada *bull ring non tempering* dan *tempering* dilakukan sebelum dilakukan pengujian laju keausan. Hasil dari pengujian *hardness* digambarkan pada gambar 4.1 sebagai berikut :

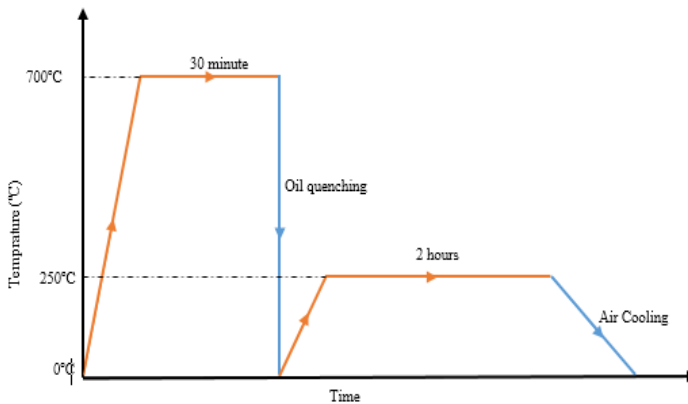


**Gambar 4.1** Pengujian *rockwell hardness c* pada *bull ring* (a). *Bull ring non tempering*, (b). *Bull ring tempering*

Pengambilan data pengujian masing masing spesimen *non tempering* dan spesimen *tempering* yang masing-masing diambil sebanyak 3 data secara berkelanjutan yaitu pada jam ke-7, jam ke-14, dan jam ke-2. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui kisaran nilai *wear rate* yang dilakukan menggunakan alat *Tribometer Pin on Disk*.

#### 4.1.1 Pengujian Laju Keausan *Bull ring Non Tempering*

Pada pengujian laju keausan pada material *Bull ring* (*high chrome ASTM A532 class III type A*) dengan Batu Bara tanpa di *tempering*. Gambar 4.2 akan menjelaskan proses *tempering* yang telah dilakukan :



**Gambar 4.2** Pengujian *tempering* pada *bull ring*

Pengujian ini dilakukan menggunakan beban sebesar 100 N dengan speed control 100 rpm. Berikut disajikan table 4.1 hasil pengujian laju keausan pada *Bull ring non tempering* dengan batu bara :

**Table 4.1** Pengujian *Bull ring non tempering*

Pengujian Jam Ke-	Load (kg)	Speed Control (rpm)	Waktu (minute)	Panjang lintasan (m)	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)
7	10	100	420	6594	1297,20	1296,89
14	10	100	420	6594	1296,89	1296,59
21	10	100	420	6594	1296,59	1296,30

#### 4.1.2 Pengujian Laju Keausan *Bull ring Tempering*

Pada pengujian lajukeausan pada material *Bull ring (high chrome ASTM A532 class III type A)* dengan Batu Bara di *tempering*. Berikut proses tempering yang dilakukan untukPengujian ini dilakukan menggunakan beban sebesar 100 N dengan speed control 100 rpm. Berikut disajikan table 4.2 hasil pengujian laju keausan pada *Bull ring* dengan batu bara :

**Table 4.2** Pengujian *Bull ring* dengan *tempering*

Pengujian Jam Ke-	Load (kg)	Speed Control (rpm)	Waktu (minute)	Panjang lintasan (m)	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)
7	10	100	420	6594	1273,34	1273,15
14	10	100	420	6594	1273,15	1272,97
21	10	100	420	6594	1272,97	1272,80

## 4.2 Perhitungan

### 4.2.1 *Specific Wear Rate Non Tempering*

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data-data berupa massa awal dan massa akhir dari pengujian uji. Setelah pengujian dilakukan perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *specific wear rate* dari material *Bull ring non tempering*. Pada hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil berupa massa awal dan massa akhir *pengujian Bull ring* yang ditimbang pada timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Contoh perhitungan nilai *specific wear rate* pada pengujian pengujian jam ke-7:

- Data :

- »  $m_{awal}$  : 1297,20 gram
- »  $m_{akhir}$  : 1296,89 gram
- »  $\rho_{Bull\ ring}$  : 7,6 gr/mm<sup>3</sup>
- »  $F$  : 100 N
- »  $L$  : 6594 m
- » Hardness : 59 HRC = 2420 N/mm<sup>2</sup>

1. Mencari jumlah perubahan massa laju keausan dari pengujian pengujian jam ke-7

$$\Delta m = m_{awal} - m_{akhir}$$

$$\Delta m = 1297,2\ gr - 1296,89\ gr$$

$$\Delta m = 0,31\ gr$$

2. Mencari jumlah perubahan volume laju keausan dari pengujian pengujian jam ke-7

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

$$\Delta V = \frac{0,31 \text{ gr}}{7,6 \text{ gr/mm}^3}$$

$$\Delta V = 4,0840 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$$

3. Mencari *specific wear rate* dari pengujian pengujian jam ke-7

$$k = \frac{V/L}{W/H}$$

$$k = \frac{6,1858 \times 10^{-6} \text{ mm}^3}{4,1300 \times 10^{-8} \text{ m}}$$

$$k = 1,4969 \times 10^2 \text{ mm}^3/\text{m}^3$$

**Table 4.3** Perhitungan *specific wear rate non tempering*

Pengujian Jam Ke-	Load (kg)	$\Delta m$ (gr)	Waktu (menit)	Sliding distance (m)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	F (N)	k (mm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
7	10	0.31	420	6594	0,0408	100	149,6974921
14	10	0.30	420	6594	0,0395	100	144,8685408
21	10	0.29	420	6594	0,0382	100	140,0395894

#### 4.2.2 Specific Wear Rate Tempering

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data-data berupa massa awal dan massa akhir dari pengujian uji. Setelah pengujian dilakukan perlu

dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *specific wear rate* dari material *Bull ring tempering*. Pada hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil berupa *massa* awal dan *massa* akhir *pengujian Bull ring* yang ditimbang pada timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Contoh perhitungan nilai *specific wear rate* pada pengujian pengujian jam ke-7:

- Data :

» $m_{awal}$	: 1273,34 gram
» $m_{akhir}$	: 1273,15 gram
» $\rho_{Bull\ ring}$	: 7,6 gr/mm <sup>3</sup>
» F	: 100 kg
» L	: 6594 m
» H	: 61 HRC = 2510 N/mm <sup>2</sup>

1. Mencari jumlah perubahan massa laju keausan dari pengujian pengujian jam ke-7

$$\Delta m = m_{awal} - m_{akhir}$$

$$\Delta m = 1273,34\ gr - 1273,15\ gr$$

$$\Delta m = 0,19\ gr$$

2. Mencari jumlah perubahan volume laju keausan dari pengujian pengujian jam ke-14

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

$$\Delta V = \frac{0,19\ gr}{7,6\ gr/mm^3}$$

$$\Delta V = 2,5000 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$$

3. Mencari *specific wear rate* dari pengujian pengujian jam ke-21

$$k = \frac{V/L}{W/H}$$

$$k = \frac{3,79133 \times 10^{-6} \text{ mm}^3}{3,9840 \times 10^{-8} \text{ m}}$$

$$k = 95,1600 \text{ mm}^3/\text{m}^3$$

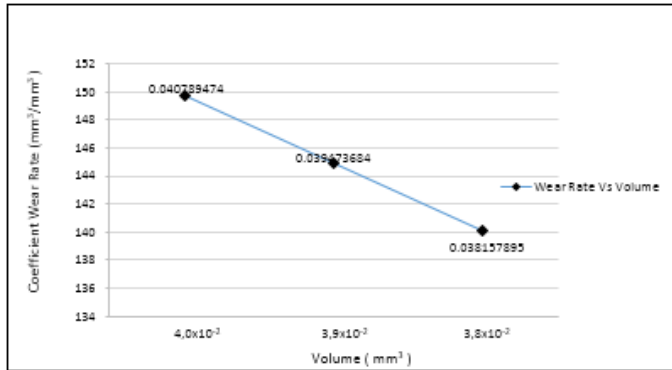
**Table 4.4** Perhitungan *specific wear rate tempering*

Pengujian Jam Ke-	Load (kg)	$\Delta m$ (kg)	Waktu (menit)	Sliding distance (m)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )	F (N)	k (mm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
7	10	0.00019	420	6594	2,50000E-02	100	95,1600
14	10	0.00018	420	6594	2,36842E-02	100	90,1508
21	10	0.00015	420	6594	2,23684E-02	100	85,1532

### 4.3 Analisa Hasil Pengujian Keausan

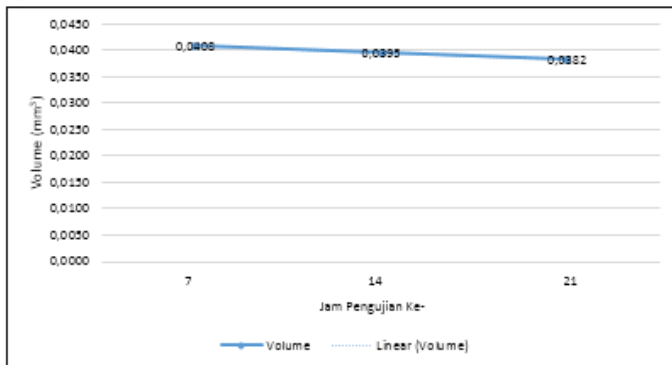
#### 4.3.1 Analisa Hasil Pengujian Keausan *Non Tempering*

Dari hasil pengujian yang dilakukan dan perhitungan *specific wear rate*, didapatkan bahwa nilai *specific wear rate* pada material *Bull ring non tempering* ditunjukkan pada table 4.3. Dari table perhitungan dapat dibuat grafik dan dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus setiap satuan gaya dan jarak. Berikut adalah grafik nilai *specific wear rate* dari hasil pengujian laju keausan material *Bull ring non tempering* :



**Gambar 4.3** Grafik *specific wear rate* pada *Bull ring non tempering*

Nilai *specific wear rate* menunjukkan trend yang cenderung menurun dengan semakin bertambahnya perubahan volume berat pada *Bull ring non tempering*. Pada uji keausan material *Bull ring non tempering* ini memiliki volume keausan yang tidak terlalu signifikan perbedaannya. Gambar 4.1 menunjukkan grafik *specific wear rate*, dimana laju keausan menurun tajam sebesar  $4,828951359 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  pada pengujian jam ke-7 menuju jam ke-14. Nilai laju keausan jam ke-7 ke 21 adalah  $9,657902719 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ .



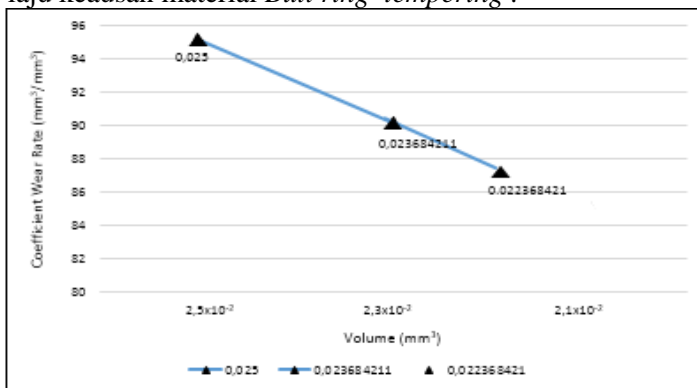


**Gambar 4.4** Grafik volume aus pada uji keausan *Bull ring non tempering*

Pada pengujian Jam ke-7 *Bull ring non tempering* volume aus yang terjadi sebesar  $0,0408 \text{ mm}^3$ . Pada pengujian jam ke-14 *Bull ring non tempering* volume aus yang terjadi sebesar  $0,0395 \text{ mm}^3$ . Pada pengujian jam ke-21 *Bull ring non tempering* volume aus yang terjadi sebesar  $0,0382 \text{ mm}^3$ . Hal ini menjelaskan bahwa pengujian pertama memiliki koefisien *wear rate* paling tinggi karena material debris pengujian yang ada dipermukaan terangkat akibat *abrasif wear rate*, sedangkan pada pengujian pengujian kedua dan ketiga semakin kecil koefisien *wear rate* dikarenakan material debris permukaan telah terangkat sebelumnya sehingga mengalami penurunan nilai *wear rate* itu sendiri.

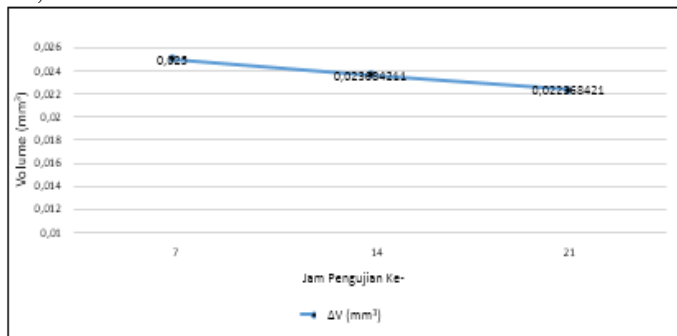
**4.3.2 Analisa Hasil Pengujian Keausan *Bull ring Tempering***

Dari hasil pengujian yang dilakukan dan perhitungan *specific wear rate*, didapatkan bahwa nilai *specific wear rate* pada material *Bull ring tempering* ditunjukkan pada table 4.4. Dari table perhitungan dapat dibuat grafik dan dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus setiap satuan gaya dan jarak. Berikut adalah grafik nilai *specific wear rate* dari hasil pengujian laju keausan material *Bull ring tempering* :



**Gambar 4.5** Grafik *specific wear rate* pada *Bull ring tempering*

Nilai *specific wear rate* menunjukkan trend yang cenderung menurun dengan semakin bertambahnya perubahan volume berat pada *Bull ring tempering*. Pada uji keausan material *Bull ring tempering* ini memiliki volume keausan yang tidak terlalu signifikan perbedaannya. Gambar 4.3 menunjukkan grafik *specific wear rate*, dimana laju keausan menurun sebesar  $5,0090 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  pada pengujian jam ke-7 menuju jam pengujian ke 14. Untuk selanjutnya laju keausan menurun dengan laju yang relative konstan dengan penurunan linear untuk pengujian jam ke-7 menuju jam ke-21 yaitu sebesar  $10,0200 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ .



**Gambar 4.6** Grafik volume aus pada uji keausan *Bull ring tempering*

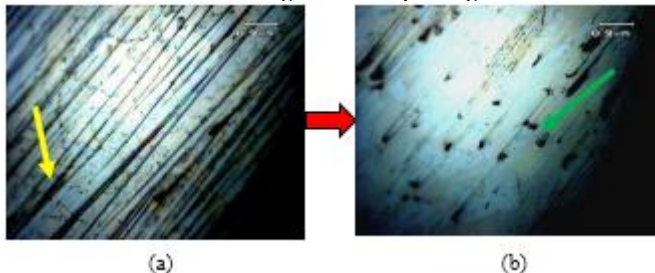
Pada pengujian 1 *Bull ring non tempering* volume aus yang terjadi sebesar  $0,0250 \text{ mm}^3$ . Pada pengujian 2 *Bull ring non tempering* volume aus yang terjadi sebesar  $0,023684211 \text{ mm}^3$ . Pada pengujian 3 *Bull ring non tempering* volume aus yang terjadi sebesar  $0,022068421 \text{ mm}^3$ . Sama halnya dengan *Bull ring non tempering* pada pengujian yang pertama menjelaskan bahwa pada pengujian pertama memiliki koefisien *wear rate* paling tinggi karena material debris pengujian yang ada dipermukaan terangkat akibat *abrasif wear rate* dan

lapisan atas spesimen ikut terangkat, sedangkan pada pengujian pengujian kedua dan ketiga semakin kecil koefisien *wear rate* dikarenakan material debris permukaan telah terangkat sebelumnya sehingga mengalami penurunan nilai *wear rate* itu sendiri.

#### 4.4 Analisa Hasil Foto Mikro Laju Keausan

##### 4.4.1 Analisa Hasil Foto Mikro Laju Keausan *Bull ring Non Tempering*

Dari hasil pengujian yang dilakukan dan perhitungan *specific wear rate*, didapatkan bahwa nilai *specific wear rate* pada material *Bull ring non tempering* yang ditunjukkan pada gambar 4.5. Hasil ini akan menunjukkan perbedaan fisik dari pengujian dengan pembebanan 10 kg dan level speed control 100 rpm. Berikut adalah gambar foto mikro dengan perbesaran 50x hasil pengujian laju keausan material *Bull ring non tempering* :



**Gambar 4.7** Foto mikro pengujian *Bull ring non tempering* dengan perbesaran 50x (a). Sebelum pengujian, (b). Setelah pengujian

Pada pengujian ini dilakukan dengan pemberian beban sebesar 10 kg dan speedcontrol 100 rpm. Dari hasil pengujian didapat laju keausan yang semakin menurun, grafik 4.1 dan 4.2 diatas dapat dijelaskan bahwa volume aus ini disebabkan karena adanya mekanisme gesekan, dengan kerusakan yang cukup parah dan terjadi pada beban dan kecepatan tinggi. Secara fisik tidak tampak

deformasi permanen tetapi hanya efek permukaan yang halus karena deformasi permukaan *asperity*-nya yang terkikis secara terus menerus.

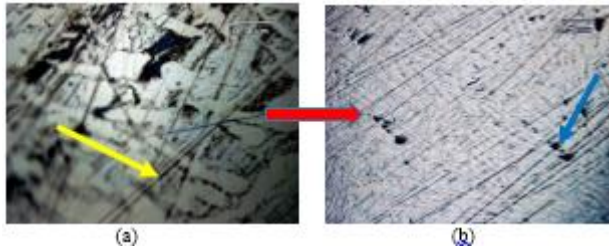
Pengujian yang dilakukan memiliki aju keausan cenderung menurun. Hal ini juga didukung oleh teori delaminasi, dimana pada umumnya *asperity* yang keras pada permukaan mengalami keausan terlebih dahulu adalah matrik terluar dari *Bull ring* sampai terkikis habis (ditunjukkan dengan panah berwarna kuning) kemudian gesekan baru akan mengikis pada komposisi materialnya itu sendiri setelah seluruh *asperity* material debris habis seluruhnya. Karena pada umumnya material memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan matrik dari *asperity* material debris akibat proses *machining*, maka keausan juga bisa ditekan.

Hasil foto mikro dari pengujian ini, adalah sesuai dengan hasil yang diharapkan karena pengujian ini keausan yang terjadi berupa keausan *abrasive*, dimana pada foto mikro tampak goresan-goresan yang mengindikasikan adanya keausan *abrasive* (ditunjukkan oleh tanda panah kuning). Goresan-goresan tersebut diakibatkan oleh partikel-partikel *wear debris* yang akan berfungsi sebagai bahan *abrasive*. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.5. Tanda panah hijau menunjukkan bahwa gesekan pengujian mengakibatkan terjainya *pitting* antara batubara dengan *bull ring* sehingga batubara terkelupas dan menempel pada spesimen uji.

#### **4.4.2 Analisa Hasil Foto Mikro Laju Keausan *Bull ring Tempering***

Dari hasil pengujian yang dilakukan dan perhitungan *specific wear rate*, didapatkan bahwa nilai *specific wear rate* pada material *Bull ring non tempering* yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Hasil ini akan menunjukkan perbedaan fisik dari pengujian dengan pembebanan 10 kg dan level speed control 100 rpm. Berikut adalah gambar

foto mikro dengan perbesaran 10x hasil pengujian laju keausan material *Bull ring tempering* :



**Gambar 4.8** Foto mikro pengujian *Bull ring tempering* dengan perbesaran 10x (a). Sebelum pengujian, (b). Setelah pengujian

Pada pengujian ini dilakukan dengan pemberian beban sebesar 10 kg dan speedcontrol 100 rpm. Dari hasil pengujian didapat laju keausan yang semakin menurun, grafik 4.3 dan 4.4 diatas dapat dijelaskan bahwa volume aus ini disebabkan karena adanya mekanisme gesekan, dengan kerusakan yang cukup parah dan terjadi pada beban dan kecepatan tinggi. Secara fisik tidak tampak deformasi permanen tetapi hanya efek permukaan yang halus karena deformasi permukaan *asperity*-nya yang terkikis secara terus menerus.

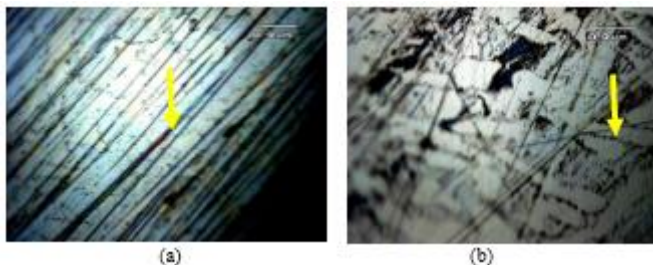
Pengujian ini, laju keausan cenderung menurun. Hal ini juga didukung oleh teori delaminasi, dimana pada umumnya *asperity* yang keras pada permukaan mengalami keausan terlebih dahulu adalah matrik terluar dari *Bull ring* sampai terkikis habis kemudian baru berlanjut pada komposisi materialnya itu sendiri. Karena pada umumnya material memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan matrik, maka keausan juga bisa ditekan.

. Hasil foto mikro dari pengujian ini, adalah sesuai dengan hasil yang diharapkan karena pengujian ini keausan yang terjadi berupa keausan *abrasive*, bukan akibat terjadinya korosi ataupun *fatigue*, dimana pada foto mikro tampak goresan-goresan yang mengindikasikan adanya

keausan *abrasive* (ditunjukkan oleh tanda panah kuning). Goresan-goresan tersebut diakibatkan oleh partikel-partikel *wear debris* yang akan berfungsi sebagai bahan *abrasive*. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.5. Kenaikkan Hardness pada saat ditempering hanya naik sebesar 1-2 HRC tergantung posisi titik dan tanda panah biru menunjukkan bahwa gesekan pengujian mengakibatkan terjadinya *pitting* antara batubara dengan *bull ring* masih terjadi sehingga batubara terkelupas dan menempel pada spesimen uji.

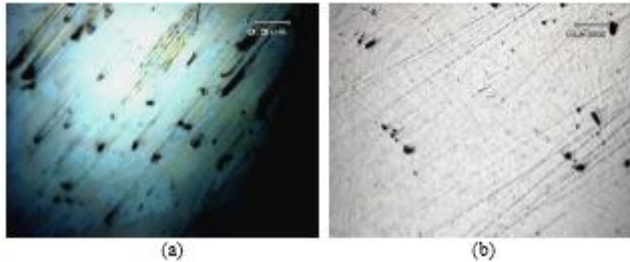
#### 4.5 Analisa Perbandingan Hasil Foto Mikro Laju Keausan antara *Bull ring Non Tempering* dengan *Bull ring Tempering*

Dari hasil foto mikro pada gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan hasil yang *significant* yaitu kontur matrix dari masing masing permukaan pra pengujian dengan pasca pengujian.



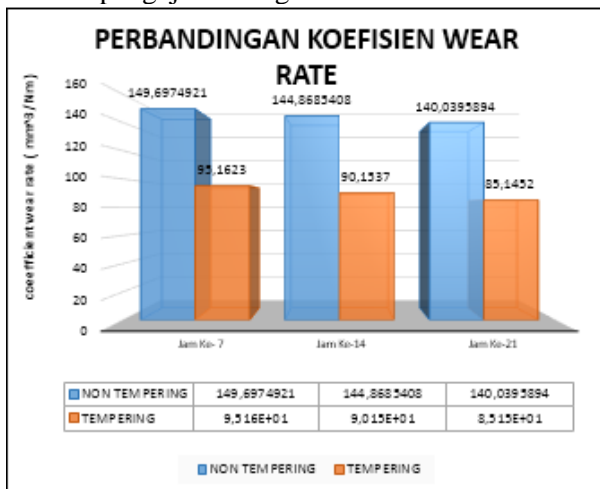
**Gambar 4.9** Foto mikro pengujian (a). *Bull ring non tempering* pra pengujian, (b). *Bull ring tempering* pra pengujian

Pada gambar 4.7 (a) menunjukkan lapisan atas yang belum tekikis matrix dari material tidak terlihat jelas, sedangkan pada gambar 4.7 (b) matrix material terlihat jelas akibat dilakukannya proses tempering (ditunjukkan dengan tanda panah kuning). Sehingga proses tempering mengikis lapisan terluar dari *Bull ring* itu sendiri.



**Gambar 4.10** Foto mikro pengujian (a). *Bull ring non tempering* pasca pengujian, (b). *Bull ring tempering* pasca pengujian

Pada gambar 4.8 (a) menunjukkan lapisan atas yang telah tekikis dan kontur terlihat halus sedangkan pada gambar 4.7 (b) matrix material yang terkikis masih sangat kasar. Hal ini menunjukkan bahwa proses termpering memiliki laju keausan yang lebih kecil dibandingkan dengan *Bull ring non tempering*. Data tersebut dapat disimpulkan dengan gambar 4.9 dari grafik perbandingan dari kedua pengujian sebagai berikut:



**Gambar 4.11** Grafik perbandingan *specific wear rate* pada *Bull ring non tempering* dengan *Bull ring tempering*

Pada hasil diatas terlihat perbedaan hasil dari proses *non tempering* dengan yang *tempering*. Pada Pengujian jam ke-7 memiliki perbedaan yang cukup besar  $149,6974921 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  hal ini dikarenakan pada proses *non tempering* lapisan atas terkikis secara cepat dan besar sehingga laju keausan semakin besar pula dibandingkan pada pengujian jam ke-14  $144,8685408 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  dan jam ke-21  $140,0395894 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  sedangkan hasil dari proses *tempering* Pengujian jam ke-7 memiliki perbedaan yang cukup besar  $95,1623 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  hal ini dikarenakan pada proses *non tempering* lapisan atas terkikis secara cepat dan besar sehingga laju keausan semakin besar pula dibandingkan pada pengujian jam ke-14  $90,1537 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  dan jam ke-21  $85,1452 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  dimana pada umumnya *asperity* yang keras pada permukaan mengalami keausan terlebih dahulu adalah matrik terluar dari *Bull ring* sampai terkikis habis kemudian baru berlanjut pada komposisi materialnya itu sendiri. Karena pada umumnya material memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan matrik, maka keausan juga bisa ditekan.

Pada proses *tempering* hasil tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok bahkan nilai cenderung konstan dan linear, hal ini dikarenakan lapisan teratas dari material sudah hilang akibat proses *tempering* yang telah dilakukan sehingga membuat material keras dan laju keausan cenderung kecil.

#### 4.6 Perhitungan Umur Hidup (Life Time) Material Uji

Pada eksperimen ini setelah dicari nilai laju keausan (*wear rate*), maka akan didapatkan umur hidup masing-masing material. Perhitungan Umur Hidup masing-masing material menggunakan rumus dari buku "*Applied Tribology, Michael M. Khonsari And E. Richard Booser*" sebagai berikut:

$$t = \frac{L}{v} \quad (4.1)$$

Keterangan :

t = Umur hidup material (tahun)



L = Panjang lintasan (meter)  
 v = Kecepatan rata-rata (m/s)

Dimana untuk mencari nilai L dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$\frac{V}{L} = k \frac{W}{H} \quad (4.2)$$

Keterangan ;

L = Panjang Lintasan (meter)  
 V = Voume Batas Aus yang diijinkan (m<sup>3</sup>)  
 H = Nilai kekerasan pada material (N/m<sup>2</sup>)  
 k = Nilai laju keausan (mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)  
 W = Berat pembebanan (N)

- Berdasarkan perumusan maka didapatkan hasil perhitungan *Bullring Non Tempering* yang ditampilkan dibawah ini :  
 1. Hasil Perhitungan Umur Hidup *Bullring Non Tempering*

$$\frac{V_{20\%}}{L_{20\%}} = k \frac{W}{H}$$

$$\frac{111,5131 \text{ mm}^3}{L_{20\%}} = 140,0395 \frac{\text{mm}^3}{\text{m}^3} \times \frac{100 \text{ N}}{2,420 \times 10^9 \text{ N/m}^2}$$

$$L_{20\%} = 1,9270 \times 10^7 \text{ m}$$

## 2. Mencari Kecepatan Rata-Rata

$$\bar{v} = \frac{L_{20\%}}{t_{20\%}}$$

$$t_{20\%} = \frac{1,9270 \times 10^7 \text{ m}}{0,5236 \text{ m/s}}$$

$$= 3,680366 \times 10^7 \text{ Second}$$

$$= 14,1989 \text{ month}$$

$$= 1,1832 \text{ years}$$

- Berdasarkan perumusan maka didapatkan hasil perhitungan *Bullring Tempering* yang ditampilkan dibawah ini :

### 1. Hasil Perhitungan Umur Hidup *Bullring Tempering*

$$\frac{V_{20\%}}{L_{20\%}} = k \frac{W}{H}$$

$$\frac{111,5131 \text{ mm}^3}{L_{20\%}} = 95,1623 \frac{\text{mm}^3}{\text{m}^3} \times \frac{100 \text{ N}}{2,510 \times 10^9 \text{ N/m}^2}$$

$$L_{20\%} = 2,9412 \times 10^7 \text{ m}$$

### 2. Mencari Kecepatan Rata-Rata

$$\bar{v} = \frac{L_{20\%}}{t_{20\%}}$$

$$t_{20\%} = \frac{2,9412 \times 10^7 \text{ m}}{0,5236 \text{ m/s}}$$

$$= 5,6173960 \times 10^7 \text{ Second}$$

$$= 21,672052 \text{ month}$$

$$= 1,8060 \text{ years}$$

Berdasarkan hasil perhitungan umur hidup (*life time*) di atas, perbandingan antara material *Bullring* dengan perlakuan *tempering* dan *non tempering*. Kondisi *tempering* menunjukkan hasil *life time* lebih lama daripada *non tempering*. Kecepatan (*Speed Control*) 100 Rpm, umur dari material *Bullring Non Tempering* adalah 1,1832 tahun, sedangkan umur dari material *Bullring Tempering* adalah 1,8060 tahun. Kesimpulannya yaitu melakukan pengujian keausan pada kondisi *non tempering* umur hidupnya lebih pendek daripada proses *tempering*.

#### 4.7 Estimasi Perhitungan *Wear Rate* dan *Life Time Real* Setiap *Bull Ring* pada *Pulverizer*

##### 4.7.1 Estimasi Perhitungan *Wear Rate* Setiap *Bull Ring* pada *Pulverizer*

• Data :

» $m_{awal}$	: 52500 gram
» $m_{akhir}$	: 49653,88 gram
» $\rho_{Bull\ ring}$	: $7,6 \times 10^6 \text{ kg/m}^3$
» $F$	: 597,2 kg
» $L$	: 6160680 m
» Time	: 120 Minute = 7200 Second

1. Mencari jumlah perubahan massa laju keausan dari pengujian pengujian 1

$$\Delta m = m_{awal} - m_{akhir}$$

$$\Delta m = 52500 \text{ gr} - 52499,2 \text{ gr}$$

$$\Delta m = 0,8 \text{ gr} = 0,0008 \text{ kg}$$

2. Mencari jumlah perubahan volume laju keausan dari pengujian pengujian 1

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

$$\Delta V = \frac{0,0008 \text{ kg}}{7,6 \times 10^6 \text{ kg/m}^3}$$

$$\Delta V = 1,05263 \times 10^{-10} \text{ m}^3$$

$$\Delta V = 105,263 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$$

3. Mencari *spesific wear rate* dari pengujian pengujian 1

$$k = \frac{V/L}{W/H}$$

$$k = \frac{8,54314 \times 10^{-9} \text{ mm}^3}{2,468 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$k = 3,4620 \times 10^{-2} \text{ mm}^3/\text{m}^3$$

#### 4.7.2 Estimasi Perhitungan Umur setiap Bull Ring pada Pulverizer

##### 1. Hasil Perhitungan Umur Hidup Bull ring

$$\frac{V_{20\%}}{L_{20\%}} = k \frac{W}{H}$$

$$\frac{0,02105 \text{ mm}^3}{L_{20\%}} = 3,4620 \times 10^{-2} \frac{\text{mm}^3}{\text{m}^3} \times \frac{597,2 \text{ N}}{2,420 \times 10^9 \text{ N/m}^2}$$

$$L_{20\%} = 1,232 \times 10^7 \text{ m}$$

##### 2. Mencari Kecepatan Rata-Rata

$$\bar{v} = \frac{L_{20\%}}{t_{20\%}}$$

$$t_{20\%} = \frac{1,2321 \times 10^7 \text{ m}}{3,1416 \text{ m/s}}$$

$$= 3921887 \text{ Second}$$

$$= 4,7534 \text{ month}$$

$$= 0,3961 \text{ years}$$

Berdasarkan hasil perhitungan umur hidup (*life time*) di atas, nilai real umur bull ring apabila mencapai keausan sebesar 20% adalah 0,3961 years.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang dilakukan dapat disimpulkan :

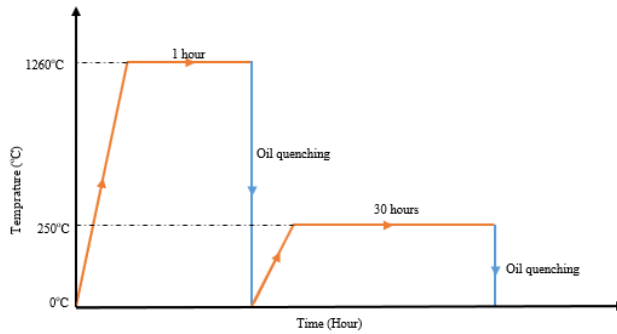
1. Pada Pengujian jam ke-7 memiliki perbedaan yang cukup besar  $149,6974921 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  hal ini dikarenakan pada proses *non tempering* lapisan atas terkikis secara cepat dan besar sehingga laju keausan semakin besar pula dibandingkan pada pengujian jam ke-14  $144,8685408 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  dan jam ke-21  $140,0395894 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  sedangkan hasil dari proses *tempering* Pengujian jam ke-7 memiliki perbedaan yang cukup besar  $95,1623 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  hal ini dikarenakan pada proses *non tempering* lapisan atas terkikis secara cepat dan besar sehingga laju keausan semakin besar pula dibandingkan pada pengujian jam ke-14  $90,1537 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  dan jam ke-21  $85,1452 \text{ mm}^3/\text{m}^3$  dimana pada umumnya *asperity* yang keras pada permukaan mengalami keausan terlebih dahulu adalah matrik terluar dari *Bull ring* sampai terkikis habis kemudian baru berlanjut pada komposisi materialnya itu sendiri. Karena pada umumnya material memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan matrik, maka keausan juga bisa ditekan.
2. Proses *tempering* dapat menurunkan nilai laju keausan secara *significant* dan nilai yang dihasilkan mendekati linear.

3. Volume aus terbesar terjadi pada pengujian *non tempering* pengujian pertama dimana pada umumnya *asperity* yang keras pada permukaan mengalami keausan terlebih dahulu adalah matrik terluar dari *bullring*
4. Mekanisme keausan yang terjadi pada *bullring* didominasi mekanisme *abrasive*. Goresan pada permukaan kontak spesimen menunjukkan adanya mekanisme *abrasive*.
5. Berdasarkan hasil perhitungan umur hidup (*life time*) dengan kecepatan (*Speed Control*) 100 Rpm, umur dari material *Bullring Non Tempering* adalah 1,1832 tahun, sedangkan umur dari material *Bullring Tempering* adalah 1,8060 tahun. Kesimpulannya yaitu melakukan pengujian keausan pada kondisi *non tempering* umur hidupnya lebih pendek daripada proses *tempering*.
6. Berdasarkan hasil perhitungan umur hidup (*life time*) di atas, nilai real umur bull ring apabila mencapai keausan sebesar 20% adalah 0,3961 years.

## 5.2 Saran

Penelitian ini masih banyak memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis mempunyai beberapa saran, yaitu:

1. Pada saat pengujian hardness kenaikan nilai sebelum dan sesudah tempering tidak begitu jauh, hal ini dikarenakan proses tempering yang dilakukan kurang maksimal. Tempering sebaiknya dilakukan seperti penjelasan gambar 5.1 sebagai berikut:



**Gambar 5.1** Proses *tempering* yang sebaiknya dilakukan

2. Pada penelitian ini dilakukan hendaknya dilakukan pengujian dengan menggunakan software agar hasil yang didapatkan lebih akurat. Karena pada proses pengujian batubara mudah hancur akibat pembebanan.
3. Penelitian ini dilakukan pada kondisi *ideal* apabila dilakukan pada kondisi *realnya software* tersebut dapat menunjukkan bagian yang terkikis dan yang mengalami *abrasive*, sehingga dapat dilakukan penanganan agar laju keausan semakin kecil.



*Halaman ini sengaja di kosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Adinda, Dwi. 2010. *Analisa Kekuatan Material pada Prosthesis Total Knee Joint Replacement*. Surabaya.
- Khonsari, Michael.M and Booser, E.Richard. 2001. *Principles and Applications of Tribology*. New York : John Wiley & Sons, INC.
- Bhushan, Bharat. 2013. *Principles and Applications of Tribology*. New York : John Wiley & Sons, INC.
- Rose f. Riemer, Tammy L. Haut Donahuephd, Kenton R. Kaufman, PhD. 2003. *Tibiofemoral Load Distribution during Gait of Normal Subjects*. Michigan.
- Sunyoto, Teguh. 2015. *Studi Eksperimen Analisa Keausan Material Antara Baja Dengan Akrilik Akibat Adanya Stick-Slip Friction Pada Tribometer Pin On Plate*. Tugas Akhir ITS. Surabaya
- Arun\* , K. V. and K.V. Swetha. 2011. *Influence of Material Condition on the Dry Sliding Wear Behavior of Spring Steels*. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol. 10, No.4, pp.323-337. USA.
- Zdravecká, E., J. Tkáčová, M. Ondáč. 2014. *Effect of microstructure factors on abrasion resistance of high-strength steels*. *Res. Agr. Eng.* Vol. 60, 2014, No. 3: 115–120
- Tlotleng ,Monnamme Titus.2011. *Coal Characteristics That Lead To Abrasion During Grinding*. University of the Witwatersrand

## *Lampiran 1*

### **Composition of ASTM A532 CLASS III TYPE A**

	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>
<b>Min%</b>	2.5			23	
<b>Max%</b>	3.3	1.0	1.5	28	2.1

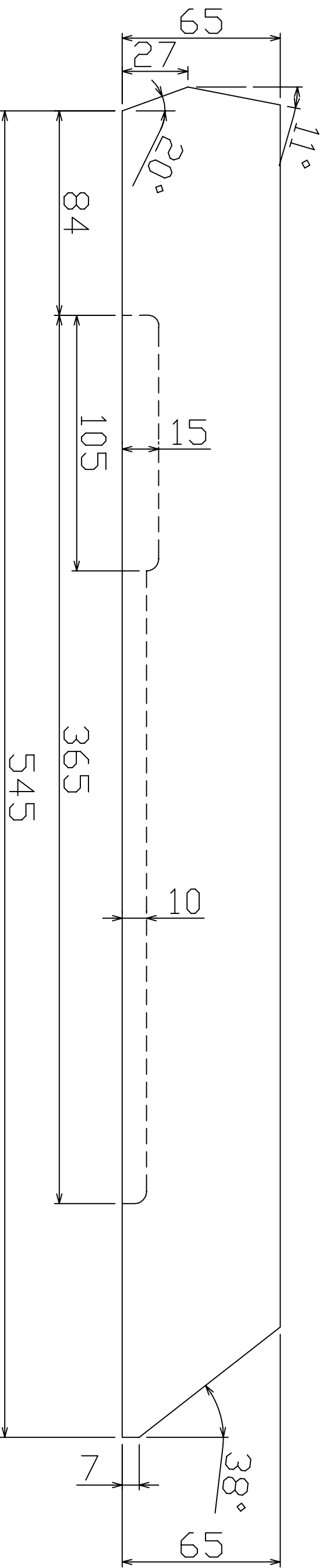
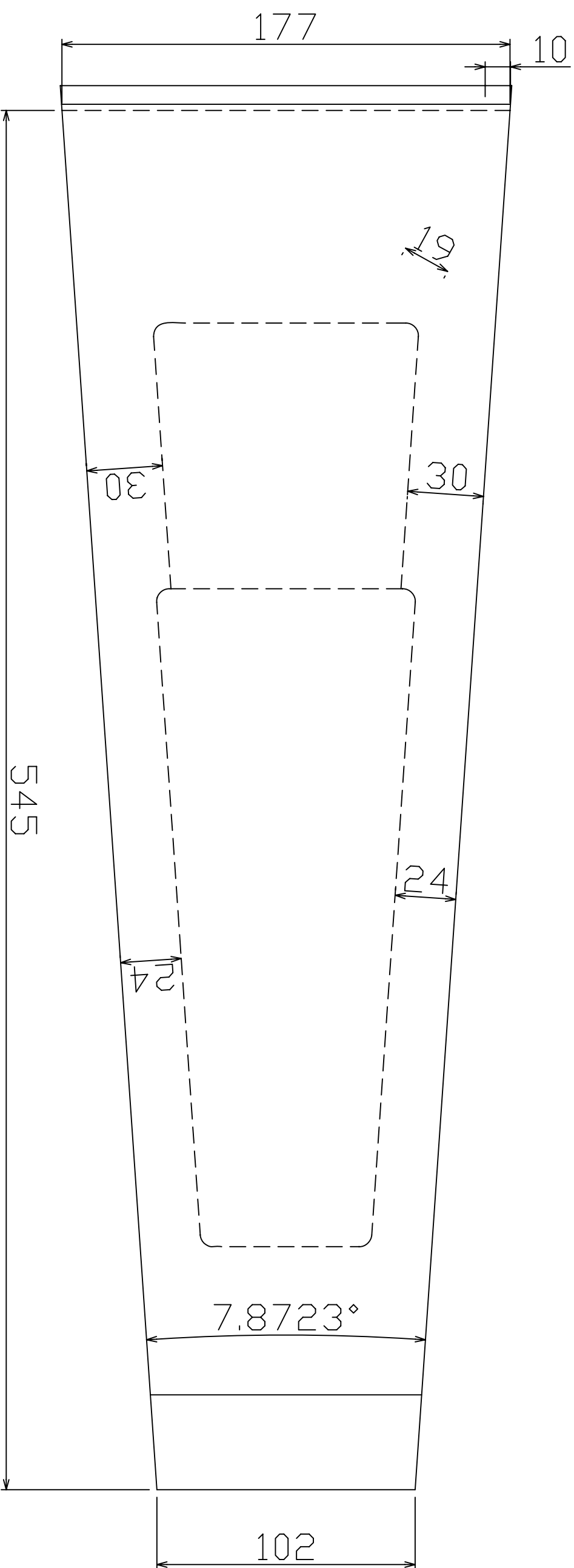
### **Physical and Mechanical Properties** (reference Abrasion Resistant Handbook)

<b>Density lb/in<sup>3</sup> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	0.26 (7.6)
<b>Thermal Conductivity Btu/hr·ft·F (W/m·K)</b>	8.6-17.3 (15-30)
<b>Specific Heat at 70F Btu/lb·F (J/Kg·k)</b>	0.119
<b>Coefficient of Thermal Expansion <math>\epsilon/F(\epsilon/C) \times 10^6</math> average between 70-1112F</b>	7.2 (13)
<b>Melting Temperature (F)</b>	2300 F
<b>Compressive Strength Ksi (MPa)</b>	429 (2960)
<b>Transverse Strength Ksi( MPa)</b>	136 (938)

### **Typical Hardness**

	<b>Brinell</b> (depends on thickness)
<b>As-Cast</b>	<b>450-550</b>
<b>Hardened</b>	<b>600-700</b>

NOTE: ALL SHARP EDGES TO HAVE SMOOTH RADIUS AND BURR MUST BE REMOVED



NOTE : Type : 101 1711  
W = 35 kg

S NO	ALTERATIONS	SIGN	DATE

MACHINING DEVIATION FOR OPEN DIMNS										SURFACE FINISH SYMBOLS											
Over	6	30	120	315	1000	2000	>	Roughness Grade No	VVVV			VVV			VV			V			U
Up to&inc	6	30	120	316	1000	2000	4000		4000	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Tolerance	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	Roughness Valie Ra μm	.025	.05	.1	.2	.4	.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25	50

[illegible]

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Magetan, 18 September 1993, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Kartoharjo, SDN Kartoharjo I, SMPN 1 Barat dan SMAN 1 Maospati. Setelah lulus dari SMAN tahun 2012. Penulis pernah diterima di Universitas Muhammadiyah Malang (UMM) jurusan Teknik Mesin angkatan 2012, namun penulis lebih memilih untuk melanjutkan pendidikan di D3 Teknik Mesin FTI-ITS dan menyelesaikan pendidikan tepat waktu yaitu 6 semester lulus tahun 2015 . Pada tahun 2016 penulis diterima untuk program Lintas Jalur S1 Teknik Mesin FTI-ITS dan dapat menyelesaikan secara tepat waktu yaitu 4 semester.

Dalam pengerjaan tugas akhir, penulis membutuhkan waktu pengerjaan kurang lebih 5 bulan pada semester 4 pendidikan di S1 Teknik Mesin FTI-ITS. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa S1 Teknik mesin FTI-ITS khususnya serta untuk kebermanfaat orang banyak kedepannya.

Email : *rakans1809@gmail.com*